LIBRARY USE ONLY

Learning and Labor.

LIBRARY

OF THE

University of Illinois.

CLASS. BOOK. VOLUME.

550 N64 2

Books are not to be taken from the Library.

GEOLOGY Accession No.

Return this book on or before the **Latest Date** stamped below. A charge is made on all overdue books.
University of Illinois Library

JAN 24 1948
JUN 11 1954
July 7, 1954
MAR 17 1956
LIBRARY USE ONLY

Note: Binding is loose
OK

M32

UNIVERSITY OF
ILLINOIS LIBRARY
AT URBANA-CHAMPAIGN
GEOLOGY

ENCYCLOPÉDIE DES TRAVAUX PUBLICS

GÉOLOGIE APPLIQUÉE

A L'ART DE L'INGÉNIEUR

ENCYCLOPÉDIE

DES

TRAVAUX PUBLICS

Fondée par **M.-C. LECHALAS**, Inspr gén^al des Ponts et Chaussées

LIBRARY
UNIVERSITY OF ILLINOIS
URBANA

GÉOLOGIE APPLIQUÉE

A L'ART DE L'INGÉNIEUR

PAR

E. NIVOIT

INGÉNIEUR EN CHEF DES MINES
PROFESSEUR A L'ÉCOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSÉES

TOME SECOND

STRATIGRAPHIE
ou
GÉOLOGIE PROPREMENT DITE

PARIS
LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE
BAUDRY ET Cie, LIBRAIRES-ÉDITEURS
15, RUE DES SAINTS-PÈRES
MÊME MAISON A LIÈGE

1889

TOUS DROITS RÉSERVÉS

LIBRARY
UNIVERSITY OF ILLINOIS
URBANA

TABLE DES MATIÈRES

DU SECOND VOLUME

CHAPITRE XII. — Classification des formations géologiques..... 3
§ I. Etablissement de la série chronologique des terrains sédimentaires..... 4
§ II. Divisions de la série sédimentaire..... 12
§ III. Classification chronologique des roches éruptives et des filons..... 19
§ IV. Représentation graphique de la nature du sol..... 24

CHAPITRE XIII. — Ère azoïque..... 31
§ I. Généralités sur le terrain primitif..... 31
§ II. Plateau Central de la France..... 38
§ III. Types étrangers du terrain primitif..... 49

CHAPITRE XIV. Ère primaire. Périodes cambrienne, silurienne et dévonienne..... 53
§ I. Généralités sur l'ère primaire..... 53
§ II. Période cambrienne..... 58
§ III. Période silurienne..... 62
§ IV. Période dévonienne..... 68
§ V. Massif de l'Ardenne..... 79
§ VI. Massif armoricain..... 94
§ VII. Gisements ardoisiers..... 108
1. Gisements de l'Ardenne..... 108
2. Gisements de l'Anjou..... 118
3. Gisements du Pays de Galles..... 124
§ VIII. Types divers de terrains de transition..... 133

CHAPITRE XV. — Période carbonifère..... 141
§ I. Caractères de la période carbonifère..... 141
§ II. Étage anthracifère..... 160
§ III. Étage houiller..... 164
§ IV. Types de bassins houillers..... 189
1. Bassin de Valenciennes..... 189
2. Bassin de Saint-Etienne..... 200
§ V. Étage permien..... 211

CHAPITRE XVI. — Ère secondaire. Période triasique..... 217
§ I. Généralités sur l'ère secondaire..... 217
§ II. Caractères de la période triasique..... 219
§ III. Trias de la Lorraine..... 226
§ IV. Noyau central des Vosges..... 242
§ V. Massifs des Maures et de l'Esterel..... 250
§ VI. Types divers du trias..... 257

CHAPITRE XVII. — Période liasique..... 263
§ I. Généralités sur la série jurassique..... 263
§ II. Caractères de la période liasique..... 269
§ III. Lias de la Lorraine et des Ardennes..... 279
§ IV. Lias de la Bourgogne..... 291
§ V. Types divers du lias..... 296

CHAPITRE XVIII. — Période oolithique..... 307
§ I. Caractères de la période oolithique..... 307
§ II. Système oolithique dans l'est de la France..... 319
§ III. Système oolithique en Normandie..... 333
§ IV. Massif du Jura..... 338
§ V. Types divers du système oolithique..... 350

CHAPITRE XIX. — Période crétacée..... 363
§ I. Caractères de la période crétacée..... 363
§ II. Système crétacé dans la région orientale du bassin de Paris..... 377
§ III. Système crétacé dans les régions septentrionale et occidentale du bassin de Paris..... 389
§ IV. Système crétacé dans les Charentes et la Dordogne..... 400
§ V. Système crétacé en Provence..... 405
§ VI. Types divers du système crétacé..... 416

CHAPITRE XX. — Ère tertiaire. Période éocène..... 427
§ I. Généralités sur l'ère tertiaire..... 427
§ II. Caractères de la période éocène..... 435
§ III. Système éocène dans le bassin de Paris..... 444
§ IV. Terrain nummulitique..... 464
§ V. Types divers de l'éocène..... 472
§ VI. Massif des Pyrénées..... 479

CHAPITRE XXI. — Période miocène..... 491
§ I. Caractères de la période miocène..... 491
§ II. Système miocène dans le bassin de Paris..... 498
§ III. Système miocène de l'Aquitaine..... 507
§ IV. Miocène lacustre du centre de la France..... 513
§ V. Formation sidérolithique..... 518
§ VI. Types divers du système miocène..... 523
§ VII. Alpes occidentales..... 527

Chapitre XXII. — Période pliocène 539
§ I. Caractères de la période pliocène 539
§ II. Types du système pliocène 542
§ III. Terrains volcaniques 552

Chapitre XXIII. — Ère quaternaire 565
§ I. Période diluvienne 566
§ II. Période actuelle 589
§ III. Types de terrains quaternaires 593
§ IV. Homme préhistorique 605

Tableau résumé des formations géologiques 621

Ouvrages à consulter 629

Index alphabétique 633

Errata 650

SECONDE PARTIE

STRATIGRAPHIE

OU

GÉOLOGIE PROPREMENT DITE

550
W64
v.2
Geology

CHAPITRE XII

CLASSIFICATION DES FORMATIONS GÉOLOGIQUES

§ I. Etablissement de la série sédimentaire. — § II. Divisions de la série sédimentaire. — § III. Classification chronologique des roches éruptives.— § IV. Représentation graphique de la nature du sol.

550. — Dans le premier volume de cet ouvrage nous avons passé en revue les phénomènes qui se produisent sous nos yeux, puis nous avons cherché à reconstituer ceux dont la terre a été le théâtre dans les âges anciens. Nous avons ensuite examiné les minéraux et les roches dont ces phénomènes ont amené la formation et nous avons jeté un coup d'œil rapide sur les êtres qui nous ont laissé leurs restes dans les profondeurs du sol. Nous nous sommes borné d'ailleurs à étudier ces divers matériaux en eux-mêmes et nous nous sommes systématiquement abstenu de toute considération sur leur mode d'arrangement relatif.

Pour achever notre tâche, il nous reste à entrer d'une manière plus intime dans la constitution de l'écorce du globe, en recherchant les lois qui président à la superposition et à la juxtaposition des masses minérales, aussi bien que des groupes ou associations organiques. C'est là l'objet de la *stratigraphie* ou *géologie proprement dite*.

Dans l'étude que nous allons entreprendre, deux méthodes s'offrent à nous.

L'une, se fondant sur ce que les couches sédimentaires diffèrent d'autant plus de celles qui sont en voie de formation

qu'elles sont plus anciennes, et sur ce que les restes organiques s'éloignent eux-mêmes de plus en plus des types vivants à mesure qu'on remonte le cours des âges, prend pour point de départ l'époque actuelle et examine la série des couches depuis les plus récentes jusqu'aux premières assises du globe. Sans contester les avantages pratiques de cette manière de procéder, on ne peut méconnaître qu'il n'y ait de graves inconvénients à intervertir l'ordre naturel d'événements qui se sont déroulés successivement. C'est comme si l'on voulait raconter l'histoire romaine en commençant par la chute de l'Empire et finissant par la fondation de Rome.

La seconde méthode, qui suit l'ordre inverse, est conforme à celle des historiens. C'est celle que nous adopterons, à l'exemple de la majorité des géologues. Elle est plus rationnelle et plus logique que la précédente, puisque les terrains sédimentaires se sont formés aux dépens de ceux qui les précèdent dans l'échelle chronologique, et que les générations qui ont successivement peuplé la terre sont arrivées peu à peu, par voie de perfectionnement graduel, à constituer la faune et la flore actuelles.

Mais, avant tout, il est nécessaire d'indiquer les principes à l'aide desquels on parvient à classer les diverses formations géologiques, sédimentaires ou éruptives, qui, en se pénétrant mutuellement, forment l'écorce du globe, et comment on peut représenter graphiquement les résultats des recherches stratigraphiques.

§ I.

ÉTABLISSEMENT DE LA SÉRIE CHRONOLOGIQUE DES TERRAINS SÉDIMENTAIRES

551. Principe de la superposition. — La première écorce consolidée du globe est le soubassement, le *substratum*, sur lequel se sont édifiés les terrains sédimentaires. Ils ont

emprunté les éléments dont ils sont composés soit à ce soubassement lui-même, soit aux roches éruptives qui le traversaient à intervalles irréguliers, tantôt sur un point, tantôt sur un autre, soit à des dépôts sédimentaires déjà formés.

Il est évident que, hormis les cas de renversement qui ne se présentent d'ailleurs qu'exceptionnellement, une couche doit être considérée comme plus récente qu'une autre sur laquelle elle repose. Tel est le *principe de la superposition*, qui offre un moyen infaillible de déterminer l'âge relatif des terrains stratifiés.

Si l'on pouvait trouver un point du globe qui n'eût été soumis à aucun bouleversement, si ce point avait été constamment immergé et si la sédimentation y avait été continue, il semble qu'il suffirait d'y percer un puits jusqu'aux assises primitives pour traverser toute la série des formations sédimentaires, des plus récentes aux plus anciennes, et pour permettre d'établir une série chronologique complète de ces formations.

Mais il n'est pas probable qu'il existe un tel point, car la sédimentation, tout en agissant sans temps d'arrêt à la surface du globe, est discontinue de son essence dans une région donnée, comme le prouve la séparation en couches distinctes. Existât-il d'ailleurs que, sans parler des difficultés pratiques qui s'opposeraient à l'exécution d'un travail de ce genre, on n'arriverait pas ainsi à la solution du problème. On ne connaîtrait que la nature des sédiments déposés au lieu considéré, et on ne pourrait tirer de là aucune conclusion générale ni aucune vue d'ensemble.

Une même couche peut subir en effet, quand on la suit sur une certaine étendue, des variations considérables dans sa composition minéralogique, en rapport avec la constitution des côtes que venait battre la mer où elle se déposait et avec la nature des apports des fleuves qui se déversaient dans cette mer. D'autre part, les modifications graduelles des êtres qui ont peuplé la terre ne se font pas sur une verticale ; en raison des émigrations, des destructions locales qui ont pu se produire, de l'arrivée de nouveaux animaux ou de nouvelles plantes, faits qui dépendent surtout des variations des conditions physiques, on ne peut saisir les phases du développement des formes or-

Fig. 198. — Coupe des terrains tertiaires entre Paris et Laon. (L'échelle des hauteurs est beaucoup plus grande que celle des longueurs). — 1, craie blanche ; 2, sables de Bracheux ; 3, argiles avec lignites ; 4, sables à *Nummulites planulata* ; 5, calcaire grossier ; 6, sables de Beauchamp ; 7, calcaire lacustre de Saint-Ouen ; 8, gypse et marnes ; 9, glaise verte et marne à *Cyrena convexa* ; 10, sables de Fontainebleau ; 11, meulières ; 12, alluvions.

ganiques qu'en portant ses investigations sur toute la surface du globe.

552. Coupes géologiques.—Le seul moyen que le géologue ait à sa disposition pour dresser l'inventaire exact et complet des formations sédimentaires est de faire en un très grand nombre de régions des relevés des couches qui s'y trouvent, pour chercher ensuite à les raccorder entre elles.

Ces relevés constituent ce que l'on appelle des *coupes géologiques.* On suppose que la région dont on veut déterminer la constitution intérieure est coupée par un plan vertical dans une direction convenablement choisie, qui est généralement perpendiculaire à celle de la stratification ; on examine alors les assises, en suivant cette direction dans les vallées, les ravins, les fossés, les carrières, en un mot dans toutes les écorchures du sol où elles se montrent à nu, et on les décrit minutieusement, feuillet par feuillet, avec toutes leurs particularités stratigraphiques, pétrographiques et paléontologiques.

C'est ainsi, par exemple, qu'en se dirigeant de Laon vers Paris, on voit affleurer successivement des assises qui plongent sous la capitale et dont la désignation sommaire est donnée par la légende de la figure 198.

Quand on peut suivre de grandes falaises montrant les tranches des couches sur leurs escarpements, la

tâche du géologue est encore plus aisée. Les puits et les galeries que l'on exécute pour la recherche ou l'exploitation des substances minérales, les sondages, les tunnels, les tranchées de chemins de fer, fournissent aussi d'excellentes coupes géologiques.

553. Lacunes des séries locales. — En établissant ainsi des séries locales de couches, on s'aperçoit souvent à divers indices qu'en certains points la sédimentation a été suspendue. Le géologue sait alors qu'en chacun de ces points il y a une lacune et que, dans l'intervalle de temps qui lui correspond, des dépôts stratifiés se sont formés ailleurs, puisque l'œuvre de la sédimentation n'a pas cessé de se poursuivre sans relâche à la surface du globe.

Ces lacunes ou hiatus ont donc une grande importance pour le but que nous avons en vue. Nous allons voir comment elles se manifestent.

Discordances de stratification. — Toutes les fois que des couches sont en stratification discordante, on doit admettre avec tous les géologues qu'il manque un certain nombre d'éléments de la série géologique entre les deux groupes discordants. Le redressement ou le plissement des strates inférieures a été produit en effet par un mouvement du sol et il en est nécessairement résulté une suspension, de durée plus ou moins lon-

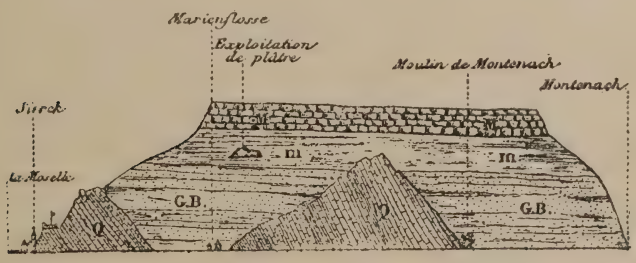


Fig. 199. — Vue du flanc droit de la vallée de Montenach (d'après M. Jacquot). — Q, quartzite ; GB, grès bigarré ; m, calcaire coquillier inférieur; M, calcaire coquillier moyen du trias.

gue, dans la sédimentation. Le plus souvent ces couches ont été émergées et elles n'ont commencé à se recouvrir de dé-

pôts que lorsqu'elles ont été immergées de nouveau par suite d'un mouvement en sens contraire.

Les discordances de stratification bien nettes ne sont pas communes. Elles se remarquent surtout dans les pays montagneux ; telle est celle qui se présente près de la ville de Sierk (Alsace-Lorraine), au contact des quartzites dévoniens et des grès bigarrés triasiques (Fig. 199), et qui met en évidence une grande lacune correspondant à toute la durée de la période carbonifère et une partie de la période suivante.

État des surfaces. — La surface supérieure d'une couche peut offrir des modifications dues à des causes étrangères à la sédimentation régulière, telles que des indices de durcissement, des perforations produites par des mollusques lithophages, des ravinements sous l'action de courants d'eau. Dans ces diverses circonstances, il y a eu certainement un temps d'arrêt dans la formation des dépôts stratifiés.

Nous citerons comme exemple de durcissement la craie de la montagne de Reims qui, à sa partie supérieure, est devenue jaune, compacte, non traçante, en même temps qu'elle présente des tubulures diversement ramifiées par suite d'une exposition prolongée à l'air, avant de s'immerger de nouveau pour se recouvrir d'autres dépôts. Dans cette région, la même roche nous fournit encore des preuves manifestes d'émersion dans les sillons qui ravinent sa surface supérieure et qui ont été comblés par un dépôt confus de sables et d'argiles, auquel succèdent des couches mieux stratifiées.

Les perforations de mollusques (Fig. 200) se remarquent en un assez grand nombre de points. Elles annoncent la présence d'anciens rivages et elles sont parfois accompagnées de bancs de poudingues qui indiquent aussi des phénomènes littoraux.

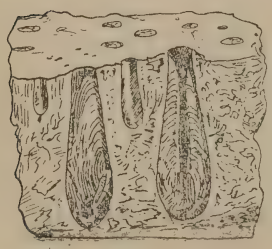


Fig. 200. — Calcaire perforé par des pholades.

Les traces de pas de reptiles ou d'oiseaux, les empreintes de gouttes de pluie, que nous avons signalées précédemment (n°s 542-543), démontrent également que les roches sur lesquelles on les observe ont été

émergées, au moins pendant le temps nécessaire au cheminement des animaux ou à la chute de la pluie sur le sol mis à sec, puis qu'elles ont été recouvertes d'un sédiment sableux qui, en se transformant en grès, a conservé ces curieux vestiges.

Intercalation de formations lacustres. — Au milieu des couches à faune marine, il n'est pas rare, surtout dans les formations qui se rapprochent de notre époque, de trouver intercalées des strates renfermant des coquilles terrestres ou fluviatiles, des ossements de mammifères terrestres, des troncs d'arbres encore en place. Cela indique qu'après le dépôt de l'assise marine immédiatement inférieure il y a eu émersion et que, pendant un certain temps, le sol en ce point a été envahi par des eaux douces ou est resté à l'air. Dans cet intervalle, quelques-unes des couches marines ont même pu disparaître par voie d'érosion.

Changements brusques dans les formes organiques. — En vertu de la loi paléontologique de la modification graduelle des espèces, les faunes et les flores qui se succèdent régulièrement ne peuvent présenter de différences profondes. Si on passe d'un ensemble organique à un ensemble radicalement opposé, il y a donc *discordance paléontologique*, et on se trouve en présence d'une lacune.

Il en est de même quand des espèces d'eaux profondes succèdent à des espèces littorales ; il y a eu alors en un point situé près du rivage un affaissement brusque qui en a fait un fond de mer.

554. Raccordement des séries locales. — Les séries locales une fois constituées, il s'agit de les faire servir à l'établissement de l'échelle chronologique des formations sédimentaires, en parallélisant les couches synchroniques et comblant les lacunes d'une série avec des strates empruntées à une autre.

Le procédé le plus sûr, on pourrait même dire le seul certain, pour obtenir un parallélisme rigoureux, consiste à suivre une couche donnée partout où elle peut être reconnue et à délimiter autant que possible les contours du bassin dans lequel elle s'est déposée. On peut se rendre compte de cette

manière de la transformation progressive de ses caractères pétrographiques, des modifications graduelles de sa faune et de sa flore, et arriver à identifier des dépôts qui, considérés isolément, auraient paru appartenir à des époques distinctes. Ainsi, en Angleterre, le système dévonien est représenté tantôt par des conglomérats et des grès rouges avec poissons, tantôt par des couches de calcaire, de grès et de schiste avec trilobites et mollusques ; ce sont des assises synchroniques, les premières à faciès littoral, les secondes à faciès pélagique, qui doivent cette différence dans leur nature aux conditions particulières dans lesquelles s'est opérée leur formation.

Le même procédé permet encore de séparer des dépôts au premier abord identiques et qu'on serait tenté de rapporter à la même époque. Tels sont le grès rouge dévonien dont nous venons de parler et qui, placé au-dessous du terrain houiller, a une ressemblance frappante avec un autre grès placé au-dessus de ce terrain ; aussi les géologues anglais donnent au premier le nom de *vieux grès rouge* et au second celui de *nouveau grès rouge*. Tels sont encore la gaize oxfordienne de Signy-l'Abbaye dans le département des Ardennes, et la gaize crétacée de l'Argonne, qui sont séparées par une grande épaisseur de couches secondaires et qui parfois, par suite d'une lacune correspondant à ces dernières couches, en viennent à se superposer directement.

Mais il n'est pas toujours possible de suivre le prolongement des couches ; c'est ce qui arrive notamment dans les pays couverts de forêts ou de prairies, où les terrains sont complètement masqués par la végétation. D'autre part le sol peut être bouleversé, découpé par des failles, et le principe de la continuité devient alors tout au moins d'une application délicate.

Quand ce procédé fait défaut, on n'a pas d'autres ressources que de comparer entre elles les séries locales à l'aide des indications contenues dans la description détaillée des couches et de chercher à identifier les strates de caractères analogues. Dans ce travail le géologue doit faire appel à toute

sa sagacité, car il est souvent exposé à tomber dans les plus graves erreurs.

En raison de sa variabilité, le caractère pétrographique ne peut généralement pas être d'un grand secours, puisque, comme nous l'avons vu tout-à-l'heure, des assises identiques peuvent être d'âges très différents et réciproquement.

Cependant il y a certaines assises qui se signalent quelquefois par un faciès constant sur plusieurs centaines de kilomètres d'étendue. Il en est ainsi de la craie blanche, des sables verts, qui se présentent partout avec le même aspect dans le bassin de Paris, en Champagne, en Picardie, en Normandie, et cela est d'autant plus remarquable pour cette dernière assise qu'elle n'a que quelques mètres d'épaisseur. C'est ce qui avait fait croire autrefois à des observateurs superficiels que le globe tout entier avait été enveloppé d'une succession de formations stratifiées, distinctes, disposées autour de son noyau comme les pellicules concentriques d'un oignon.

De telles couches, qui contiennent d'ailleurs partout les mêmes fossiles, constituent d'excellents repères dans une région déterminée. Ce sont des *niveaux géognostiques* que le géologue est heureux de rencontrer, car ils lui servent de point de départ pour la détermination des terrains qui leur sont associés.

Le caractère paléontologique a beaucoup plus de valeur que le précédent pour le classement des couches sédimentaires. En principe on doit admettre que des assises contenant les mêmes fossiles sont équivalentes. Il convient toutefois de rappeler que les modifications du monde organique ne se sont pas produites simultanément dans toutes les parties du globe, parce que les conditions locales des milieux ne variaient pas partout avec la même vitesse. Il s'ensuit que le développement de l'ensemble des organismes pouvait être déjà assez avancé sur un point tandis qu'il était resté stationnaire sur un autre, en sorte que des formations équivalentes par leurs faunes et leurs flores n'ont pas nécessairement le même *âge absolu*. Tout ce que l'on peut dire, c'est que leur *âge relatif* est le même, en ce sens que le développement organique a suivi la même marche et a traversé des stades analogues. Ce sont des

considérations que nous avons déjà fait ressortir précédemment (n° 547); mais il n'était pas inutile d'y revenir ici.

Par contre, si des couches à fossiles identiques sont équivalentes, la réciproque n'est pas vraie et des formations équivalentes peuvent renfermer des faunes et des flores distinctes. Une même mer par exemple nourrit des populations différentes dans ses grandes profondeurs, sur ses plages sableuses, dans ses lagunes, etc., et par suite les restes fossiles ne sont pas les mêmes en tous les points du dépôt qui se forme dans cette mer. Cependant, quand on cherche avec attention, il est rare qu'on ne trouve pas quelques débris d'animaux fréquentant indifféremment toutes sortes de parages et qui servent de trait d'union.

Les disparates se manifestent souvent, d'une manière bien plus accentuée encore, entre les fossiles de couches équivalentes situées dans des contrées très éloignées l'une de l'autre, surtout quand il s'agit de périodes rapprochées de notre époque, alors que les faunes et les flores locales commençaient à s'installer à la surface du globe. Il est très difficile dans ce cas d'établir la correspondance.

§ II.

DIVISIONS DE LA SÉRIE SÉDIMENTAIRE

555. Groupements de couches. — Supposons que nous nous trouvions en possession du tableau chronologique général des formations sédimentaires qui se sont succédé à la surface du globe. Il est nécessaire d'introduire dans cette série, ne fût-ce qu'à titre de moyen mnémonique, des coupures permettant de répartir les strates qu'elle comprend en un certain nombre de groupes d'ordre de plus en plus élevé, qui correspondent à autant de divisions dans la série des temps.

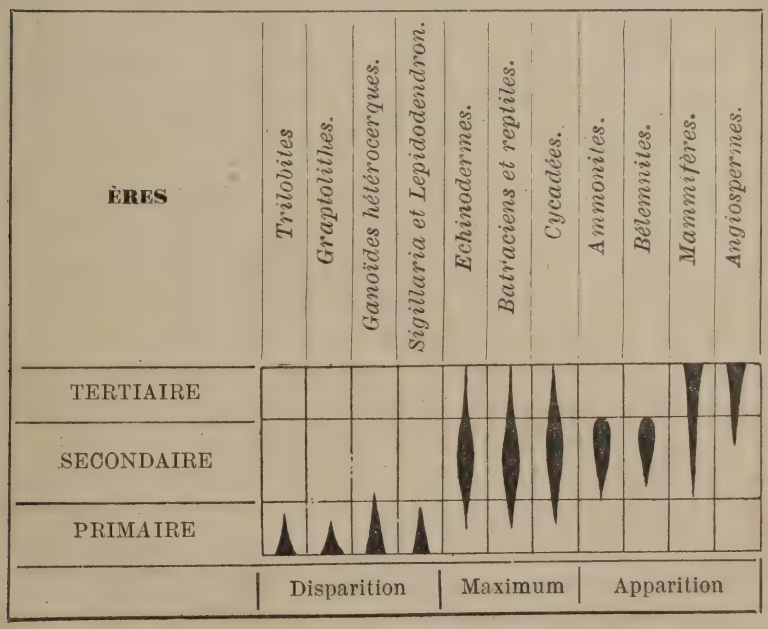
On croyait autrefois que l'histoire du globe pouvait se scinder en plusieurs périodes très nettes, entièrement distinctes

les unes des autres, séparées par des cataclysmes jouant le rôle de dates et qui avaient donné naissance à des discordances de stratification, à des soulèvements de montagnes, à des invasions subites de la mer, etc.

Mais à mesure que les observations se multiplient et que la science progresse, on reconnaît que c'est là une illusion et que la continuité a été absolue dans l'œuvre de la sédimentation aussi bien que dans celle du développement de la vie. Les cataclysmes n'ont eu que des effets restreints.

Il y a ici analogie complète avec l'histoire de l'humanité, dans laquelle les grands évènements politiques n'ont qu'une action limitée et qui est loin de s'étendre à tous les peuples.

C'est la paléontologie qui nous fournit les meilleurs moyens d'établir des divisions aussi homogènes que possible. On se fonde pour cela sur la première apparition de certains types d'animaux ou de plantes, sur la prédominance que prennent des genres déjà apparus auparavant, sur la disparition de formes caractéristiques des âges précédents.



Le tableau ci-dessus représente graphiquement quelques-

uns des changements survenus dans le monde organique et qui ont permis de séparer l'ère secondaire d'avec l'ère primaire qui l'a précédée et l'ère tertiaire qui l'a suivie.

On voit que les graptolithes, les trilobites, les *Sigillaria* et les *Lepidodendron*, qui jusque-là avaient eu un grand développement, s'éteignent avant la fin de l'ère primaire, alors que les poissons ganoïdes hétérocerques persistent un peu au-delà; que les échinodermes, les batraciens, les reptiles et les cycadées, apparus dans l'ère primaire, atteignent le maximum de leur développement dans l'ère secondaire pour diminuer ensuite graduellement d'importance ; que les ammonites et les bélemnites sont cantonnées dans l'ère secondaire ; et qu'enfin les mammifères naissent avec elle, tandis que les phanérogames angiospermes se montrent seulement à son déclin.

Toutefois ces divisions, de même que celles d'ordre inférieur, ne doivent être considérées que comme provisoires. On ne pourra réellement arriver à un résultat tant soit peu satisfaisant que quand on connaîtra l'écorce terrestre dans tout son ensemble. Malgré les nombreux voyages des géologues, qui portent chaque jour leurs investigations dans des contrées inconnues, malgré le développement des travaux de mines, malgré la multiplicité des sondages qui pénètrent jusqu'à des profondeurs jugées autrefois inabordables, c'est un but qui n'est pas près d'être atteint.

Pour ne citer qu'un exemple, la limite entre les deux groupes primaire et secondaire ne paraît aussi nette, leurs faunes respectives ne présentent une divergence aussi accentuée, que parce qu'on a tracé cette limite en Europe où ces deux groupes sont séparés par une grande lacune. En Asie, cette lacune n'existe pas, en sorte que si cette partie du monde avait été étudiée la première au point de vue géologique, la limite que l'on aurait été amené à établir ne coïnciderait vraisemblablement pas avec celle qui est admise par les géologues européens. Un certain arbitraire préside donc au groupement des assises.

556. Terminologie géologique. — Les divisions de l'histoire du globe et les groupes d'assises qui leur correspondent sont de divers ordres. Pour les établir, on cherche à réunir

plusieurs couches présentant entre elles certaines affinités, comme font les zoologistes pour la série des nombreux animaux qui peuplent le globe.

La terminologie adoptée par les géologues pour la désignation de ces groupes constitue un véritable chaos, et on ne s'accorde même pas sur la valeur relative des termes employés ; ainsi pour certains géologues l'étage est une division d'un degré supérieur à l'assise, tandis que pour d'autres c'est le contraire. Un congrès international, tenu à Bologne en 1881, a tenté de mettre fin à cette anarchie, mais sans y parvenir complétement. En nous inspirant des règles posées dans cette réunion, voici quelle est la terminologie que nous adopterons.

Le premier élément des formations sédimentaires, celui qu'on ne peut subdiviser, est la *couche*, *strate* ou *lit* (*stratum* en latin, *bed* en anglais, *schicht* en allemand), compris entre deux joints de stratification. La réunion d'un certain nombre de couches ayant des caractères communs constitue une *assise* ; puis viennent successivement des associations de plus en plus étendues : l'*étage*, qui peut se subdiviser en *sous-étages* ; le *système*, susceptible de se subdiviser lui-même en *sous-systèmes* ; le *groupe*, qui est l'ensemble le plus élevé.

Les durées de temps, pendant lesquelles se sont respectivement formées ces diverses associations de couches, sont désignées par les noms indiqués dans la seconde colonne du tableau ci-dessous :

couche	horizon
assise	âge
étage	époque
système	période
groupe	ère

Nous employerons souvent aussi l'expression de *terrain*, que nous appliquerons indifféremment, comme synonyme, à l'étage ou au système. Ce mot est d'un usage tellement répandu qu'il est impossible de l'éliminer, malgré l'exclusion dont l'a frappé le congrès de Bologne.

Quant au mot *formation*, usité dans un grand nombre d'ouvrages sur la géologie, il n'entraîne aucune idée de temps

comme les termes précédents, et on ne doit logiquement s'en servir que pour indiquer l'origine des roches. C'est ainsi qu'on dira avec raison *formation sédimentaire*, *formation éruptive*, *formation marine*, etc. ; l'expression de *formation secondaire* est au contraire impropre.

Les groupes et les systèmes ont seuls réellement un caractère de généralité et peuvent être reconnus sur toute la surface du globe explorée jusqu'à présent. Il n'en est pas de même des étages et, à plus forte raison, des divisions d'ordre inférieur. Ces assemblages de couches sont purement régionaux, ou même locaux ; ils ne commencent pas partout au même point et les séparations ne se correspondent pas dans les diverses contrées.

557. Nomenclature géologique. — Pas plus que la terminologie, la nomenclature géologique n'est soumise à des règles fixes. Les dénominations données aux diverses associations de couches, à l'exception des groupes, sont empruntées tantôt à leur constitution pétrographique, tantôt à une particularité de la texture, tantôt à la présence de fossiles caractéristiques ou prédominants, tantôt à une localité ou à une contrée typique. Cette dernière façon de faire est de beaucoup préférable aux autres, parce qu'elle ne préjuge rien sur les caractères paléontologiques et pétrographiques, qui sont susceptibles de varier avec les pays ; elle ne risque pas, par conséquent, d'introduire des idées fausses dans l'esprit.

Par exemple, le *système dévonien* est ainsi nommé parce que le type en a été pris dans le Devonshire ; l'*étage vosgien*, parce que son gisement classique est dans les montagnes des Vosges. L'expression de *système crétacé*, tirée de la présence de la craie (*creta* en latin), est moins heureuse, parce que cette roche ne se trouve pas partout dans ce système ; il en est de même de celle d'*étage corallien*, les restes de coraux qui existent habituellement dans cet étage pouvant se rencontrer avec tout autant d'abondance à d'autres niveaux géologiques.

Quoi qu'il en soit, nous ne nous croyons pas autorisé à innover et nous nous conformerons aux usages le plus habituellement reçus en dressant le tableau ci-contre, qui comprend

GROUPES	SYSTÈMES		ÉTAGES
QUATERNAIRE	. . . . .		Alluvien Diluvien
TERTIAIRE	*PLIOCÈNE*		Subapennin
	MIOCÈNE		Falunien Tongrien
	ÉOCÈNE		Parisien Suessonien
SECONDAIRE	*CRÉTACÉ*	*Supérieur*	Danien Sénonien Turonien Cénomanien
		Inférieur	Albien Aptien Néocomien
	OOLITHIQUE	*Supérieur*	Portlandien Kimmeridgien
		Moyen	Corallien Oxfordien
		Inférieur	Bathonien Bajocien
	LIASIQUE		Toarcien Liasien Sinémurien Hettangien Rhétien
	TRIASIQUE		Saliférien Conchylien Vosgien
PRIMAIRE	*CARBONIFÈRE*		Permien Houiller Anthracifère
	DÉVONIEN		Famennien Eifelien Rhénan
	SILURIEN		Bohémien Armoricain
	CAMBRIEN		Scandinavien Ardennais
PRIMITIF	.....		Micaschistes Gneiss

les principales divisions de la série sédimentaire et du terrain primitif.

558. Épaisseur des formations sédimentaires. — La doctrine de l'évolution entraîne la croyance à une grande longueur des temps géologiques. Pour expliquer les changements considérables qui ont eu lieu depuis que la vie a apparu jusqu'à l'époque actuelle, il faut nécessairement supposer une immense durée au monde organique, puisque l'on n'a pu saisir aucune transformation sur les espèces vivantes laissées à l'état de nature. Mais, ainsi que le fait remarquer M. Albert Gaudry, quelque difficulté que nous ayons à saisir l'idée de cette durée, les observations géologiques nous forcent à l'accepter. C'est ce que montrent les chiffres suivants, empruntés au savant professeur du Muséum d'histoire naturelle :

Le tertiaire d'Europe a une épaisseur d'environ...	3.000 mètres
Le secondaire d'Europe.....	4.000
Le permien, en Allemagne.....	1.200
Le carbonifère (moins le permien), en Angleterre.	3.500
Le dévonien, en Allemagne.....	3.500
Le silurien, en Angleterre.....	6.500
Le cambrien fossilifère, en Angleterre.....	2.700
Epaisseur totale.....	24.400 mètres

Ces chiffres sont certainement des minima. Ainsi, M. Dana attribue au groupe primaire d'Amérique 15.300 mètres. D'après M. Stur, le seul groupe carbonifère a en Moravie et en Silésie au moins 14.000 mètres. Suivant M. Mayer, les couches tertiaires atteindraient 8.000 mètres. En considérant les points où l'on a constaté les plus grandes épaisseurs, on arriverait à trouver 72 kilomètres pour la puissance totale des terrains sédimentaires susceptibles de renfermer des fossiles.

Il n'a pas fallu moins de plusieurs millions d'années pour accumuler des sédiments si variés et pour transformer d'une manière aussi profonde les faunes et les flores. Mais il est impossible de préciser davantage, vu l'incertitude des données qui sont à notre disposition. Nous nous contenterons de dire qu'en comparant les épaisseurs respectives des étages et cherchant à calculer la vitesse de la sédimentation d'après la nature des

couches, M. Dana est arrivé à exprimer par les nombres suivants les durées proportionnelles des grandes ères :

Ere	primaire.....	12
—	secondaire.....	3
—	tertiaire.....	1

§ III

CLASSIFICATION CHRONOLOGIQUE DES ROCHES ÉRUPTIVES ET DES FILONS

559. Détermination de l'âge. — Les procédés que nous avons indiqués pour la détermination de l'âge des roches sédimentaires ne sont pas applicables aux roches éruptives, puisqu'elles ne sont pas stratifiées et qu'elles ne contiennent pas de fossiles. Il faut recourir à d'autres moyens.

L'un de ceux qui donnent les meilleurs résultats consiste dans l'observation des relations mutuelles de pénétration de ces roches. Ainsi dans la coupe que représente la figure 201, qui a été relevée à Bellavista en Sardaigne par M. de la Marmora, on voit la diorite traverser un porphyre quartzifère qui

Fig, 201. — Coupe de Bellavista. — 1. Granite. — 2. Porphyre rouge quartzifère. — 3. Diorite.

est lui-même enclavé dans un massif granitique ; il est certain que le granite a fait éruption le premier, puis est venu le porphyre quartzifère et ensuite la diorite. De même le basalte qui constitue la Roche-Rouge près du Puy (Haute-Loire), en tra-

versant une masse de granite (Fig. 202) dont il enchâsse des fragments, est plus récent que cette dernière roche.

Mais on n'établit de cette manière que l'ordre successif d'apparition des roches qui sont en relation les unes avec les autres ; on ne détermine, en d'autres termes, que leur âge relatif.

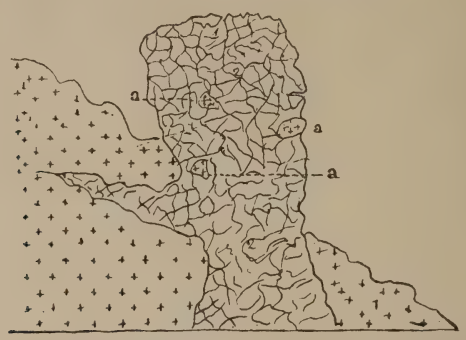


Fig. 202. — La Roche-Rouge. — 1. Granite. — 2. Basalte avec fragments *a*, *a*, *a*, de granite.

Pour obtenir des indications moins vagues, on cherche dans quelle dépendance elles se trouvent vis-à-vis de certaines formations sédimentaires susceptibles de jouer le rôle de chronomètre. Cela est possible dans bien des cas et nous en citerons quelques exemples.

D'après une coupe que nous emprunterons encore à M. de

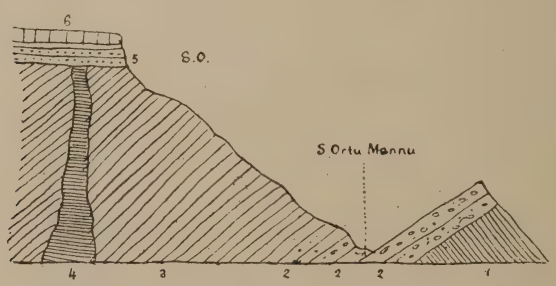


Fig. 203. — Coupe de S'Ortu Mannu. — 1. Schistes primaires plongeant au N. E. — 2. Poudingues plongeant au S. O. — 3. Schistes anthracifères. — 4. Filon de porphyre quartzifère. — 5. Grès jurassique. — 6. Calcaire jurassique.

la Marmora (Fig. 203), les schistes anthracifères inclinés de S'Ortu Mannu, qui appartiennent au système carbonifère, sont

traversés par un filon vertical de porphyre quartzifère et le tout est recouvert par des couches horizontales de grès et de calcaire jurassiques. On peut affirmer que ce porphyre a fait éruption après le dépôt et le redressement des schistes carbonifères, mais avant la formation des sédiments jurassiques.

Un autre exemple est celui des nappes de trapp qui, dans quelques bassins houillers du centre de la France, sont intercalées entre les assises sédimentaires et dont l'âge se trouve ainsi fixé avec une grande précision. Toutefois, pour qu'il ne subsiste aucun doute, il faut qu'il soit bien prouvé que cette nappe s'est épanchée à l'air libre ou sous l'eau, par dessus l'assise qu'elle recouvre, et qu'elle ne s'est pas insinuée sous forme de filon couché entre les surfaces de séparation de deux strates préexistantes. C'est ce dernier cas qui se présente pour les porphyres et les diorites intercalés dans les schistes primaires de l'Ardenne française, parallèlement à la stratification.

L'étude des conglomérats peut encore fournir des indications utiles. La présence de débris de granite et de porphyre dans la brèche qui constitue la base du terrain houiller de Saint-Étienne permet de conclure que ces deux roches, dont on retrouve des massifs dans le voisinage, avaient fait éruption avant l'époque houillère.

Les principes que nous venons d'indiquer peuvent être mis en œuvre pour la détermination de l'âge des filons; mais il ne faut pas oublier qu'il y a ici deux choses à distinguer, la fracture et le remplissage, qui ne sont presque jamais contemporains, et que les réouvertures qui ont pu se produire à plusieurs reprises viennent souvent encore compliquer le problème. En ce qui concerne les fractures, l'étude des directions ne doit pas être négligée par le mineur, car il est rare que les fractures parallèles ne soient pas du même âge. Quant au remplissage, on n'obtient généralement son âge absolu que quand il s'est épanché hors des fentes dans les terrains sédimentaires, comme il est arrivé, par exemple, pour la pyrite de cuivre dans l'étage permien du Mansfeld, pour la galène dans le système liasique du Morvan, etc.

560. Chronologie des éruptions. — Nous avons déjà

indiqué (n° 427) qu'on peut classer les roches éruptives d'après leur âge en deux grandes séries : la *série ancienne*, qui comprend les roches granitoïdes et les roches porphyriques, et la *série moderne*, à laquelle appartiennent les roches volcaniques.

Les éruptions de la première série se répartissent entre quatre périodes, dont les limites, à la vérité, ne sont pas très précises et qui empiètent un peu l'une sur l'autre :

1° *Période granitique*, qui se poursuit jusqu'au silurien inférieur, et même au-delà, et dans laquelle se sont produites toutes les éruptions de granite proprement dit. A cette période appartiennent quelques roches basiques, comme la syénite, l'euphotide, certaines diorites.

2° *Période granulitique*, du silurien au carbonifère, comprenant les granites à mica blanc, les pegmatites, et, comme roches basiques, des diorites et des diabases. Les roches porphyriques commencent à apparaître sous la forme de porphyre quartzifère.

3° *Période porphyrique*, correspondant aux époques anthracifère et houillère, dans laquelle font successivement éruption des porphyres granitoïdes, des porphyres feldspathiques et des trapps.

4° *Période mélaphyrique*, qui comprend l'époque permienne et une partie de la période triasique et dans laquelle prédominent les roches basiques, comme les mélaphyres et les serpentines, avec quelques roches acides.

Il est remarquable de voir dans ces roches la puissance de cristallisation aller graduellement en diminuant et l'individualisation de la silice en excès devenir de moins en moins distincte. C'est ainsi que, comme l'a fait observer M. Michel Lévy, tandis que cet excès cristallise largement dans les granites, il ne se trouve plus qu'en grains ou en cristaux dans les granulites et disparaît dans les dernières roches, qui sont pour la plupart franchement basiques.

La série moderne, qui débute avec l'ère tertiaire après un long intervalle de repos correspondant à presque toute la durée de l'ère secondaire, ne peut se diviser d'une manière aussi nette. On y retrouve, toutefois, quelque analogie avec la série précédente.

Les liparites, roches acides ressemblant aux granites avec lesquels on les a longtemps confondues, apparaissent dès le début de la période éocène. Puis viennent les vrais trachytes, qui poursuivent leurs éruptions jusque dans le miocène, les basaltes qui appartiennent au miocène et surtout au pliocène, et enfin les laves qni ne remontent guère au-delà de l'ère quaternaire.

561. Age des minerais métalliques. — Nous avons vu quelles difficultés on éprouve à déterminer l'époque du remplissage d'un filon. On a pu cependant établir que, à l'exception du fer dont les gisements se rencontrent dans presque tous les étages, les métaux usuels sont venus généralement à deux époques principales, une ancienne et une moderne, séparées l'une de l'autre par la plus grande partie de l'ère secondaire.

Ainsi l'or, le métal le plus ancien, se trouve à l'état natif dans des filons quartzeux dont le remplissage remonte au moins aux premiers temps de l'ère primaire, car on en retrouve les éléments dans les conglomérats cambriens des Montagnes Rocheuses. Une seconde venue a eu lieu dans la seconde moitié de l'ère tertiaire ; c'est à cette époque qu'appartiennent les filons aurifères de la Transylvanie, de l'Autriche, du Colorado.

L'étain paraît avoir apparu une première fois vers la fin de la période dévonienne avec la granulite, ce qui est le cas de presque tous ses gîtes, et une seconde fois au début de l'ère tertiaire (Toscane).

Le mercure date tantôt de la période carbonifère, comme à Almaden en Espagne, tantôt de l'ère tertiaire comme en Californie, où il est en relation avec des trachytes.

Le cuivre s'est épanché dans les sédiments permiens et triasiques (Saxe, Russie, Espagne) et il est arrivé plus tard avec les serpentines du milieu de l'ère tertiaire (Basse-Californie).

Le remplissage des filons de plomb s'est fait surtout dans la période triasique, puis dans l'ère tertiaire.

Il y a ainsi, comme on voit, une liaison intime entre les phénomènes éruptifs et les phénomènes thermo-minéraux qui ont donné naissance aux filons.

§ IV.

REPRÉSENTATION GRAPHIQUE DE LA NATURE DU SOL.

562. Cartes géologiques. — Ainsi que le font remarquer les illustres auteurs de la carte géologique de la France, Dufrénoy et Elie de Beaumont, l'ensemble des masses minérales qui se sont formées successivement dans les âges anciens constitue un édifice souterrain dont les différentes parties sont disposées avec méthode et dont il est nécessaire de connaître la structure avec détail, pour être à même d'apprécier exactement ce qu'il peut renfermer dans son intérieur et même ce qu'il présente à sa surface.

Les *cartes géologiques* ont pour but de représenter graphiquement, par des couleurs conventionnelles et par quelques autres signes, la distribution et la disposition relative des grandes masses minérales et de les peindre aux yeux.

Il semblerait au premier abord que, pour exécuter le meilleur relevé de la composition minérale du sol d'un pays, il n'y aurait rien de mieux à faire que de prendre les plans parcellaires du cadastre et d'indiquer séparément sur chaque parcelle la nature minéralogique du terrain.

Un semblable travail ne serait sans doute pas dépourvu d'utilité ; mais, quelque complet et quelque soigné qu'il pût être, il ne saurait donner les résultats que l'on est en droit d'attendre en pareille matière. Il manquerait par dessus tout de clef ; ce serait un dédale d'indications isolées, d'autant plus confuses qu'elles seraient plus nombreuses, et d'où ne se dégageraient pas les relations de continuité qui sont la base même de l'étude de la géologie sédimentaire. Il faut nécessairement étudier la continuité des grandes masses minérales en elle-même, parce qu'elle s'allie souvent, ainsi que nous l'avons fait

bien des fois ressortir, avec une variation progressive dans la nature ou dans la proportion des éléments dont chacune de ces masses se compose.

Une carte géologique ne doit donc pas se borner à exprimer les détails de la composition minéralogique, en montrant les contours des parties composées de granite, d'argile, de calcaire. Ce n'est pas là son objet le plus essentiel et elle doit représenter, d'une manière plus intime encore, la structure du sol, en y exprimant le cours souterrain des couches dans toute la région qu'elle embrasse.

Or une couche, quoique parfaitement continue, peut varier de composition d'un point à un autre, en passant par exemple du calcaire à la marne ou au grès. Cependant, cette couche est d'un seul jet ; elle a été formée en même temps sur toute son étendue, et sa continuité, dans les points où elle offre des variations de composition, dévoile un fait de la plus haute importance pour la structure de la contrée où elle affleure.

Il résulte des considérations qui précèdent que les compartiments entre lesquels se divisent les cartes géologiques doivent coïncider avec les divisions que nous avons indiquées dans le tableau général des formations sédimentaires et éruptives.

On représente par des teintes conventionnelles les affleurements d'assemblages déterminés de roches stratifiées et ceux des roches ignées enclavées dans ces terrains. Suivant l'échelle de la carte, on colorie des divisions d'ordre plus ou moins élevé. Ainsi, tandis que sur une carte à l'échelle d'un millionième on ne pourra guère représenter en général que les affleurements des étages, il sera possible de subdiviser ceux-ci sur la carte de l'Etat-major, qui est à l'échelle d'un quatre-vingt millième.

On suppose, dans cette représentation graphique, que la surface du pays dont on veut figurer la constitution géologique est débarrassée de la terre végétale, des détritus artificiels, des remblais naturels ou artificiels qui la recouvrent ordinairement, de manière à mettre à nu l'ensemble des affleurements des terrains qui forment le sol géologique.

Les cartes géologiques, ainsi comprises et exécutées, mettent en évidence la disposition des divers terrains à la superfi-

cie. Souvent même elles font connaître implicitement leur superposition probable, qui est en rapport avec l'ordre de succession des zones coloriées. Mais elles n'apprennent rien sur la structure intérieure ni sur l'inclinaison, les ondulations, les plissements des strates.

Pour mettre en lumière l'allure et les relations mutuelles des diverses masses minérales, il est indispensable de compléter les indications des cartes par un certain nombre de coupes faites suivant les directions les plus importantes. Nous en avons dit quelques mots plus haut (n° 552). Dans les pays peu accidentés, on a l'habitude d'exagérer les hauteurs pour rendre plus sensibles à l'œil les pentes des couches et l'allure générale de la stratification.

On augmente encore beaucoup l'intérêt et l'utilité d'une carte géologique en la criblant de lettres ou de signes conventionnels indiquant l'emplacement des mines et des carrières avec la nature des produits qu'on en extrait, les failles, les plis des couches, les cratères volcaniques, les sources, les gîtes fossilifères importants, etc.

Enfin, une légende ou notice, jointe à la carte, renferme les renseignements qui n'ont pu y trouver place.

563. Cartes agronomiques. — Les *cartes agronomiques*, plus particulièrement destinées aux agriculteurs, ont pour but principal de faire connaître la constitution du sol végétal en montrant, par des teintes ou des annotations spéciales, quelles sont ses propriétés en chaque point.

La terre végétale est en rapport avec le sous-sol, puisqu'elle a été formée en partie à ses dépens et qu'elle est composée des mêmes matériaux. Mais ce serait une erreur de croire qu'en chaque point sa constitution dépend uniquement de celle du sous-sol ; elle est due en effet à des causes multiples et variées, parmi lesquelles nous rappellerons l'action de la végétation, les infiltrations souterraines, l'influence de l'atmosphère, l'entraînement par les vents des particules les plus légères, les éboulements, etc.

On pourrait à la rigueur séparer complètement l'étude du sol superficiel de celle du sous-sol, et tracer les contours des

compartiments agronomiques de diverses natures sans tenir aucun compte des limites des formations géologiques. Mais il y aurait un très grave inconvénient à négliger ainsi le sous-sol qui, s'il ne détermine pas seul la composition de la terre végétale qui le recouvre, conserve presque toujours une influence prédominante sur cette composition. Là d'ailleurs ne se borne pas son rôle agronomique : il imprime au relief topographique son caractère particulier ; il exerce sur la végétation une action de premier ordre par la manière dont il se comporte à l'égard des eaux pluviales ; enfin il est essentiel de le connaître pour la recherche des gîtes d'amendement, des engrais minéraux, des eaux de sources, et en un mot de toutes les substances utiles à l'agriculture.

Toutes les cartes agronomiques que l'on a exécutées en prenant d'autres bases que la classification géologique des terrains n'ont guère qu'un intérêt statistique et ne rendent que de faibles services aux cultivateurs. Ces cartes ne sont réellement utiles qu'à la condition d'être de véritables cartes géologiques très détaillées, dans lesquelles on ne néglige aucun dépôt, si superficiel qu'il soit.

A la vérité, dans chacun des compartiments ainsi délimités, la nature de la terre végétale change d'un point à l'autre, de même que celle du sous-sol. Cependant ces variations ne se font pas brusquement et il est possible de les indiquer par des signes, en des points assez rapprochés pour qu'on puisse en tirer une idée générale, de même qu'à la simple inspection d'une carte géographique contenant un certain nombre d'altitudes, un observateur exercé se représente le relief d'une contrée.

Ainsi, par exemple, les alluvions des vallées, qu'on ne pourra généralement colorier que d'une teinte uniforme, sont susceptibles de donner des terres marneuses, sableuses, graveleuses ou tourbeuses ; on les représentera respectivement par les lettres M, Sa, Gr, T.

Il y a souvent intérêt à affecter chaque lettre indicative de la nature du sol arable d'un chiffre faisant connaître le degré d'humidité ou de séchesse de ce sol et variant de 1 à 5. Par exemple C1 désignera une terre calcaire très sèche, M3 une

terre marneuse d'humidité moyenne, Gl5 une terre glaiseuse très humide ou marécageuse.

Ces quelques mots suffisent pour montrer quelle est l'utilité d'une carte agronomique telle que nous la comprenons. Elle n'apprendra peut-être, dans bien des cas, rien de nouveau au cultivateur sur un sol qu'il remue depuis des années et qu'il connaît mieux que qui que ce soit. Mais elle lui donnera des indications précises sur la nature du sous-sol, qu'il connaît beaucoup moins bien, sur les substances utiles ou améliorantes qui peuvent s'y rencontrer.

Par comparaison avec les cartes d'autres régions contenant des terres analogues à celles qu'il cultive, le cultivateur sera souvent amené à introduire des modifications avantageuses dans ses procédés de culture. Ainsi que le fait remarquer l'éminent directeur de l'Institut agronomique, M. Risler, les Lorrains, qui s'obstinent à faire pousser à grands frais du blé dans les marnes du lias, feraient mieux d'imiter les agriculteurs du Charolais et du Nivernais qui obtiennent de riches herbages sur des terres de même nature. Les propriétaires bretons trouveraient avantage à appliquer les procédés d'amélioration employés par les habitants de l'île de Jersey sur les terres granitiques ou siluriennes, qui ont la même origine dans les deux contrées.

D'ailleurs, il en est des cartes agronomiques comme des cartes géographiques. Elles ne sont pas faites uniquement pour les gens du pays, mais aussi pour toutes les personnes qui, à un titre quelconque, peuvent avoir intérêt à connaître les terres de tel ou tel canton. Qu'un industriel par exemple veuille installer une sucrerie dans une région déterminée ; ne devra-t-il pas, avant de risquer ses capitaux, chercher à s'éclairer sur l'étendue des terres propres à la culture de la betterave, en consultant la carte agronomique de la région ? Il fera comme l'étranger qui, au moment de visiter un pays, se munit d'une carte géographique.

564. Contrées naturelles.— Quand on jette les yeux sur une carte géologique, on ne peut manquer d'être frappé d'un fait qu'elles mettent nettement en saillie, c'est que les contours

des grandes masses minérales coïncident avec les limites des *régions naturelles* ou *pays*.

Ces pays ne s'individualisent pas seulement par un ensemble de particularités qui leur sont propres, l'aspect, la configuration, la distribution des eaux, les cultures, les mœurs des habitants, etc. ; ils ont encore leur raison d'être au point de vue géologique. Leurs caractères ne sont en somme que la manifestation extérieure de la constitution minérale de leur sol.

Ainsi l'Ardenne, plateau élevé couvert de forêts, entrecoupé de profondes fractures, est uniquement formée de schistes. La Champagne, pays aride, faiblement ondulé, à cours d'eau lents et peu nombreux, repose sur une roche calcaire tendre qui est la craie. La Sologne devait son insalubrité, actuellement disparue en grande partie, à la constitution argileuse de son sol. La Crau est une grande plaine caillouteuse à peu près inculte.

Les contrées formées d'un terrain géologique analogue se signalent par des traits de ressemblance, même à de grandes distances. Tel est le cas pour les landes de Brenne, la Sologne, la Bresse, la Dombes ; pour la Champagne de l'est de la France et celle de la Charente ; pour le bocage vendéen et le bocage normand, etc.

L'instinct de nos ancêtres avait donc devancé la science en délimitant ces pays à une époque qui doit être très reculée, puisque plusieurs d'entre eux ont des noms d'origine celtique (Ardenne, Argonne, Morvan, Cévennes, Crau, etc.). Ces dénominations, indépendantes de toute considération politique, répondent aux divisions naturelles du sol et expriment l'idée d'une constitution géologique présentant dans son ensemble une certaine homogénéité.

Les rapports entre l'orographie d'un pays et sa composition minérale sont tellement étroits qu'on a pu aller jusqu'à dire, quelque paradoxale que paraisse cette affirmation, que dans bien des cas une carte géologique soigneusement faite exprime mieux le modelage général du relief d'un pays qu'une carte topographique où les mouvements du sol sont représentés par des hachures. Les contours des diverses masses sont en effet les joints principaux de l'écorce terrestre ; en les traçant on dessine le plan de sa construction. Le temps, loin de les effacer,

tend au contraire à les mettre de plus en plus en évidence, de même que, suivant l'expression d'Élie de Beaumont, il rend de plus en plus apparents les joints des pierres d'un vieux mur.

Quoi qu'il en soit, la géologie constitue une excellente base pour l'étude de la géographie, car elle donne une idée nette de chaque région naturelle, la simple énonciation de la composition géologique du sol indiquant quels doivent être ses principaux caractères extérieurs. Elle permet en outre à l'ingénieur de prévoir les difficultés qu'il peut être appelé à rencontrer dans l'exécution des travaux publics et de se rendre compte à l'avance de la nature des matériaux qu'il aura chance de trouver.

Dans l'étude des diverses formations géologiques, à laquelle nous allons maintenant procéder, nous devrons naturellement respecter l'ordre chronologique. Nous nous attacherons toutefois à faire prévaloir autant que possible cette idée de contrée naturelle, car c'est là qu'est le véritable intérêt pratique de la géologie.

CHAPITRE XIII

ÈRE AZOIQUE

§ I. Généralités sur le terrain primitif.—§ II. Plateau Central de la France. — § III. Types étrangers du terrain primitif.

§ I.

GÉNÉRALITÉS SUR LE TERRAIN PRIMITIF

565. Caractères généraux. — Le *terrain primitif* ou *sol primordial* comprend toutes les roches qui entrent dans la composition de la première croûte cristalline résultant du refroidissement de la masse fluide du globe. Cependant sa formation n'est pas strictement limitée à la durée de l'ère azoïque, car dans les périodes suivantes il a continué à augmenter de puissance de haut en bas, avec une extrême lenteur il est vrai, par l'addition de nouvelles couches cristallines qui se sont solidifiées intérieurement.

Ce terrain se montre au jour dans un grand nombre de contrées où il est resté presque constamment émergé depuis sa consolidation, sans se laisser recouvrir par des dépôts plus récents. Partout où on a pu l'observer, on lui a trouvé des caractères généraux constants ; ce qui n'a rien de surprenant si l'on réfléchit qu'il doit son origine à des causes identiques qui se

sont manifestées en même temps et de la même manière sur tous les points du globe.

Les roches primitives sont essentiellement composées de minéraux cristallins, agrégés sans la moindre trace de ciment, et elles présentent une sorte de stratification confuse, de telle manière qu'elles sont à la fois cristallines et stratiformes. Ce sont là leurs traits les plus saillants et ils sont assez caractérisés, surtout à la partie supérieure de la formation, pour que d'Omalius d'Halloy ait pu désigner cette partie avec justesse sous le nom de *terrain cristallophyllien*.

566. Eléments du terrain primitif. — Les éléments les plus importants du terrain primitif sont le gneiss et le micaschiste avec leurs diverses variétés.

On y trouve en outre les variétés schistoïdes de presque toutes les roches granitoïdes, leptynite, amphibolite, pyroxénite, chloritoschiste, talcschiste, des quartzites, des phyllades, et des amas intercalés de cipolin, de serpentine et de fer oligiste ou magnétique.

Le gneiss est d'autant plus schisteux qu'il renferme plus de mica et il passe graduellement au micaschiste par voie de disparition du feldspath. D'autre part il peut perdre sa structure schistoïde par suite de la tendance des lamelles de mica à prendre une disposition irrégulière ; il se transforme alors en un gneiss d'aspect granitique et même porphyrique, qui se trouve intercalé en masses plus ou moins puissantes entre les vrais gneiss auxquels ces deux variétés se lient ainsi étroitement. Les mêmes modifications se rencontrent dans les amphibolites, les pyroxénites, les chloritoschistes et les talcschistes, qui passent aussi à des roches où la structure schistoïde est à peine apparente.

567. Division en deux étages. — Il est très difficile de faire la description exacte de la première croûte solide du globe, dont la majeure partie échappe et échappera toujours à nos investigations. De plus elle a été soumise à tant de bouleversements, elle a été disloquée par de si violentes actions mécaniques qui ont parfois renversé complètement les

couches, elle a été injectée si souvent par des roches granitiques éruptives qui se sont insinuées parfois entre les plans de schistosité, qu'il faut une grande sagacité pour déterminer la succession des diverses assises qui la constituent.

La ressemblance de certaines roches métamorphiques avec celles de la croûte primordiale vient encore compliquer cette étude ; nous avons vu en effet (n° 193) que des actions postérieures peuvent transformer des couches sédimentaires en schistes cristallins. Aussi il est permis de dire que nous n'avons que des notions imparfaites sur les roches du terrain primitif, que l'on peut appeler avec M. de Lapparent des hiéroglyphes pétrographiques.

Toutefois on s'accorde généralement à distinguer dans la première croûte solide deux étages : l'*étage des gneiss*, qui est le plus rapproché du centre de la terre, et l'*étage des micaschistes*, qui lui est superposé.

Le premier étage est le plus constant et le plus uniforme. Il se compose de gneiss passant à la base au *gneiss granitoïde* en perdant peu à peu sa structure stratiforme.

Le second étage, de composition plus variée, comprend encore à la base des gneiss gris, grenus ou rubannés, auxquels succèdent des alternances de gneiss avec des micaschistes de plus en plus abondants et des amphibolites, puis des chloritoschistes et des serpentines. Le tout est couronné par des talcschistes, des schistes lustrés, des quartzites et des phyllades. Des lentilles de cipolin sont intercalées dans les gneiss et les micaschistes.

Ce second étage a ainsi une allure plus franchement stratiforme que le premier, et cette allure s'accentue d'autant plus en général qu'on se rapproche davantage de la partie supérieure du terrain primitif ; en même temps la cristallinité de la texture va en s'atténuant.

568. Débris détritiques. — Le terrain primitif est essentiellement le produit du refroidissement de la masse fluide, et si l'eau, comme on ne peut le contester, est intervenue dans sa formation, ce n'est pas à coup sûr de la même manière que quand elle a façonné les dépôts sédimentaires plus récents. Il

semble donc qu'on ne devrait jamais y rencontrer de roches détritiques.

Cependant on a trouvé, au milieu des schistes cristallins de l'Amérique du Nord, des lits de poudingues formés de fragments plus ou moins arrondis de gneiss, de granite et de quartzite, dans une masse fondamentale talqueuse. On a signalé aussi, dans des schistes cristallins de la Saxe, un gneiss feuilleté avec cailloux de granite, de gneiss franc et de quartz. La présence de ces conglomérats a même été invoquée à titre d'argument en faveur de l'origine sédimentaire de tout l'ensemble du terrain primitif, qui aurait été ensuite soumis à un métamorphisme général.

Mais rien n'empêche de considérer ces roches, rares d'ailleurs, comme le résultat d'un métamorphisme moins étendu, engendré par voie d'injection d'éléments granitiques au milieu d'un dépôt stratifié. Si l'on remarque en outre qu'elles ne se montrent guère qu'au sommet de la série, c'est-à-dire là où la ligne de démarcation est très peu nette entre le terrain primitif et le terrain cambrien, le fait perd déjà beaucoup de son importance.

Une circonstance remarquable, mise en relief par M. Zirkel, montre bien que le véritable terrain primitif ne doit pas renfermer d'éléments clastiques. Quand on examine au microscope des plaques minces de gneiss, on remarque que les inclusions liquides contenues dans le quartz sont généralement alignées en files, qui s'arrêtent avant d'avoir atteint la périphérie des grains. Ces grains quartzeux se sont donc consolidés sur place ; car s'ils provenaient de la destruction de roches plus anciennes, il devrait s'en trouver quelques-uns dont les inclusions seraient coupées par leur surface extérieure.

569. Absence de restes organiques. — Dans l'ère primordiale le sol était encore trop brûlant, l'atmosphère trop impure, pour que la vie pût se manifester. On a cru cependant à plusieurs reprises découvrir des restes organiques dans le terrain primitif; mais l'authenticité leur fait défaut. Nous ne citerons ici, à cause du bruit qu'il a fait dans la science,

que le prétendu organisme décrit sous le nom d'*Eozoon*[1].

En examinant attentivement le calcaire serpentineux intercalé dans les gneiss primitifs qui bordent l'Ottawa, les géologues canadiens y constatèrent vers 1863 de petites cellules accolées (fig. 204), dans lesquelles ils crurent reconnaître les vestiges d'une organisation animale et qu'ils rapportèrent à un foraminifère auquel ils donnèrent le nom d'*Eozoon canadense*. Bientôt, dans d'autres pays à sol primitif, en Bavière, en Saxe, en Silésie, en Bohême, dans les Pyrénées françaises, des traces analogues de cloisonnement se révélèrent.

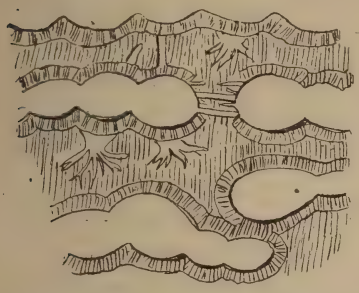


Fig. 204. — Section d'*Eozoon canadense* à un très fort grossissement.

Tous les géologues furent loin d'admettre cette interprétation, et à la suite de longues discussions il a été établi qu'il n'y avait là qu'une illusion, et que toutes les fois que le calcaire et la serpentine se trouvent mêlés et cristallisent ensemble, il se produit des cavités de ce genre. On a d'ailleurs trouvé la même structure cloisonnée dans une ophicalce de l'île de Skye, dont la formation est incontestablement moderne.

Enfin MM. Monnier et Vogt ont démontré récemment que des sels minéraux, réagissant l'un sur l'autre, peuvent produire dans certaines circonstances des formes identiques à celles des cellules organisées.

570. Age relatif des roches primitives. — Si l'on s'accorde à peu près sur l'ordre de superposition des diverses roches qui constituent le terrain primitif, il n'en est pas de même en ce qui concerne la fixation de l'âge relatif de ces roches.

Pour Cordier, la partie la plus ancienne est la zone supérieure, celle des talcschistes, et il en donne pour preuves la nature réfractaire et la faible densité du talc, qui a dû dominer

1. Εως, aurore ; ζωον, animal.

dans les premiers temps du refroidissement. Ce minéral a été ensuite remplacé par le mica, qui est l'élément le plus important des micaschistes ; puis le feldspath, principal minéral du gneiss, a cristallisé plus tard. L'écorce du globe se serait ainsi constituée couche par couche, et en quelque sorte pellicule par pellicule, de haut en bas. Abstraction faite des dérangements qu'elles ont subis postérieurement, les couches ne sont d'ailleurs pas régulières ni rigoureusement parallèles entre elles, et les nombreux feuillets de la portion supérieure de l'écorce cristalline ressemblent plutôt à des lentilles extrêmement aplaties, qui se croisent et s'entrelacent les unes dans les autres.

L'opinion dominante revient à peu près à l'hypothèse émise à la fin du dernier siècle par Werner, d'après laquelle le granite constituerait la plus ancienne partie du sol primordial, ou au moins la seule partie de ce sol qui soit à découvert. Dans cette hypothèse, les roches cristallines qui sont superposées au granite fondamental, si elles n'ont pas été déposées précédemment par les eaux pour être métamorphisées ensuite, seraient tout au moins le résultat d'une sorte de lutte entre la chaleur interne et l'eau, et cette dernière aurait fini par l'emporter, comme tendrait à le démontrer le passage graduel des talcschistes à des phyllades de moins en moins cristallins, puis à des schistes évidemment sédimentaires qu'on rattache au système cambrien.

Entre ces deux théories, il nous paraît impossible de se prononcer pour le moment. Nous nous trouvons encore ici en présence d'un de ces problèmes, si nombreux en géologie, dont la solution reste à trouver.

Il y a bien une troisième théorie qui simplifierait la question et rendrait inutile toute discussion sur l'âge. C'est celle qui consiste à dire que le véritable sol primordial ne se montre en aucun lieu du globe, le granite ayant une origine éruptive et les schistes cristallins étant des terrains sédimentaires transformés. Nous avons montré que cette manière de voir se heurte à de graves objections (n° 194).

571. Matières utiles. — Comme, dans l'ère azoïque, l'écorce terrestre n'offrait qu'une faible résistance, elle a été tra-

versée par de nombreuses éruptions de roches granitiques, première ébauche des reliefs qui devaient accidenter la surface du globe et qui circonscrivaient des dépressions dans lesquelles devaient bientôt s'établir les premières mers.

En outre des granites et de leurs variétés, les roches qui s'intercalent le plus souvent dans le terrain primitif sont la syénite, la diorite, le quartz, le porphyre quartzifère. Elles se font quelquefois remarquer par leur analogie d'aspect et de composition avec les roches primitives datant de la même époque qu'elles. Ces roches peuvent, pour la plupart, être employées dans la construction ou pour l'ornementation.

Le terrain primitif a, en outre, été sillonné de filons multipliés, soit dans l'ère azoïque, soit dans les âges suivants. C'est généralement là qu'on trouve avec la plus grande abondance les métaux rares et les pierres précieuses : l'or, l'argent, le cuivre, l'étain, le corindon, le rubis, le grenat, sans compter d'épaisses lentilles de fer magnétique ou de fer oligiste, des gisements de chaux phosphatée, etc.

Mais, si le terrain primitif est apprécié par le mineur, il l'est beaucoup moins par le cultivateur, à qui il n'offre que des sols maigres et peu productifs.

Au point de vue de l'exécution des grands travaux publics, ce terrain ne présente guère d'autres difficultés que celles qui peuvent résulter de la dureté des roches. A moins qu'il ne soit très fissuré, il se comporte généralement bien ; les éboulements n'y sont pas à craindre ou sont faciles à prévenir.

572. Répartition géographique. — Le terrain primitif, qui, d'après Cordier, occupe environ un vingtième de la surface du globe, forme la charpente d'un grand nombre de massifs montagneux.

En France, on le voit affleurer dans les Alpes, les Pyrénées, les Maures, les Vosges, l'Armorique, le Plateau Central. C'est dans cette dernière région qu'il acquiert la plus grande importance ; aussi nous la prendrons comme type et nous rechercherons l'influence que les roches primordiales et les roches éruptives qui les traversent exercent sur la structure du sol et sur l s cultures qui s'y développent. Nous décrirons les

autres affleurements primitifs français avec les massifs auxquels ils appartiennent.

Hors de France, la Scandinavie est la contrée d'Europe où ce terrain recouvre la plus vaste étendue ; il constitue une zone qui occupe presque sans solution de continuité la Norvège, la plus grande partie de la Suède et la Finlande. On le trouve aussi dans le Groenland, en Écosse, dans les montagnes de la Bavière, en Saxe, en Bohême, en Silésie, en Espagne.

Dans l'Amérique du Nord, le terrain primitif s'étend en couches fortement inclinées sur une superficie de plus de 300.000 kilomètres carrés. Dans l'Amérique du Sud, il apparaît également sur de grandes surfaces à la Guyane et au Brésil.

§ II.

PLATEAU CENTRAL DE LA FRANCE

573. Configuration générale. — Le Plateau Central est un massif montagneux qui domine le centre et le midi de la France ; il comprend le Morvan, le Limousin, l'Auvergne, le Forez, le Velay, le Vivarais et les Cévennes. Sa forme est à peu près celle d'un quadrilatère à angles arrondis, dont la plus grande diagonale s'allonge du N. E. au S.-O et dont la superficie représente près d'un cinquième de la surface totale du territoire français.

Il est pour la plus grande partie constitué par des gneiss et des micaschistes qui ont été traversés à diverses époques par des roches éruptives appartenant aux trois grands groupes des roches granitoïdes, des roches porphyriques et des roches volcaniques.

Depuis sa formation, ce massif a été presque constamment émergé ; ce n'est guère que sur ses bords ou dans ses dépressions qu'on constate des terrains sédimentaires de l'ère pri-

maire. On peut dire que c'est le sol le plus ancien de France ; dès la fin de l'ère primaire, il formait comme une grande île à contours déchiquetés, à côtes dentelées comme celles de la Bretagne. Ses caps les plus saillants étaient le Morvan, sorte d'éperon jeté à sa pointe N.-E. ; au sud le massif des Cévennes et celui de la Montagne Noire, entre lesquels la mer s'avançait pour former un vaste golfe occupé actuellement par les terrains jurassiques de l'Aveyron et de la Lozère. Au nord, la mer pénétrait aussi assez profondément dans les vallées de la Loire jusqu'à Montbrison et de l'Allier jusqu'à Brassac, où elle a formé des dépôts tertiaires.

La surface du Plateau Central, quoique ondulée, conserve une hauteur assez constante de 750 mètres au-dessus de la mer ; elle est sillonnée par un grand nombre de petits ruisseaux qui divergent dans toutes les directions et lui donnent un aspect particulier. La plupart de ces cours d'eau entament à peine le sol et sont le produit de causes locales ; mais il existe en outre des vallées profondes, qui traversent le pays sur de grandes longueurs et qui sont dues à des phénomènes généraux ; les plus importantes sont celles de l'Allier et de la Loire.

Au-dessus de son niveau général, le Plateau Central présente plusieurs chaînes de montagnes élevées qui courent parallèlement, à peu près dans la direction N.-S. La première, qui forme le littoral oriental du plateau, constitue les crêtes saillantes du Morvan et du Beaujolais, puis elle s'abaisse et va s'appuyer sur les contreforts du Mezenc. La seconde zone montagneuse comprend la chaîne du Forez qui sépare la vallée de la Loire de celle de l'Allier, se continue par les montagnes de la Margeride qui forment l'encaissement occidental de l'Allier, puis par celles de la Lozère, et se termine au sud par les Cévennes. Une troisième zone, qu'on peut appeler centrale, domine la vallée de l'Allier ; sa partie septentrionale est disposée en plateaux élevés, assez fortement accidentés ; elle encaisse au nord la vallée du Cher, au sud celle de la Dordogne, et elle s'avance jusqu'à la pointe de l'Aveyron. A l'ouest, le massif central se termine par le vaste plateau du Limousin dont l'inclinaison générale est vers l'ouest.

D'autres groupes de montagnes, formés par les anciens volcans de l'Auvergne et du Vivarais, surgissent encore au milieu des terrains anciens et paraissent, par leur couleur et leurs formes, entièrement isolés de ce qui les entoure ; c'est là qu'on trouve les altitudes les plus élevées (1.886 mètres pour le pic de Sancy) et les traits les plus saillants du relief.

574. Terrain primitif. — Le gneiss est la roche la plus abondante dans le terrain primitif du centre de la France ; il se montre surtout dans le Limousin, le Forez, le Beaujolais, la Corrèze, l'Aveyron, et comprend diverses variétés.

Dans le Limousin, le gneiss le plus ancien est un gneiss granitoïde, à peine schistoïde, avec couches de leptynite, auquel est superposé un gneiss souvent franchement schisteux, plus riche en mica et passant au micaschiste. C'est avec ce dernier gneiss qu'on fait les constructions grossières du pays.

Le gneiss contient souvent de l'amphibole, qui tantôt remplace le mica et fait alors partie constituante de la roche, tantôt forme des sortes de rognons plus ou moins épais au milieu de la masse. Ces rognons se séparent du gneiss, quand celui-ci se décompose ; on les trouve alors épars dans les champs. Leur dureté et leur ténacité exceptionnelles les rendent très propres à l'empierrement des routes.

Assez fréquemment aussi, on constate dans le gneiss de petits cristaux disséminés de fer oxydulé, notamment dans l'Aveyron.

Dans la Lozère, les gneiss ont une structure feuilletée très prononcée, grâce à l'abondance du mica noir. Cependant, comme ils contiennent beaucoup de rognons et de veinules de quartz, ils sont très durs et très résistants.

Aux environs de Tulle (Corrèze), le gneiss affecte deux couleurs principales. Il est noir, ou rose et blanc doré, avec de petites bandes de mica noir. Dans le premier cas, le mica est abondant ; dans le second, il l'est beaucoup moins. Tous deux sont en général solides ; mais le gneiss noir possède une compacité et une dureté très remarquables ; aussi on le préfère de beaucoup au granite pour l'entretien des routes.

Les micaschistes, qui viennent ensuite, sont recouverts par

des schistes micacés et des talcschistes, puis par des phyllades cristallins qui, dans la Corrèze, établissent la transition au système cambrien.

Dans les Cévennes, les talcschistes, ou *schistes luisants*, acquièrent une très grande importance. Ils recouvrent de vastes espaces (7.000 kilomètres carrés) qui se distinguent par leur uniformité et leur monotonie et forment à eux seuls toutes les gorges profondes et escarpées de cette région montagneuse. Leurs feuillets, parfois plans comme ceux de l'ardoise, sont plus généralement plissés et contournés d'une manière bizarre ; ils enveloppent dans leurs replis des amandes contemporaines de quartz blanc dont l'abondance et la grosseur varient beaucoup selon les localités.

Le gneiss schisteux renferme en plusieurs points, surtout au voisinage des micaschistes, des lentilles de calcaire saccharoïde micacé ou cipolin, à apparence rubannée, intercalées entre les strates. Le parallélisme des bandes de calcaire et des couches de gneiss, ainsi que la diminution graduelle du mica des bords au centre, montrent bien que ces bandes sont contemporaines des gneiss ou plutôt qu'elles appartiennent au même terrain.

On exploite le cipolin à Gioux (Corrèze), à Savenne (Puy-de-Dôme), près d'Eymoutiers (Haute-Vienne), de Mauriac (Cantal), etc., et on fabrique avec la partie centrale des amas, qui est à peu près pure, une bonne chaux grasse qui sert à l'amendement des terres et à la construction. A Gioux, les strates gneissiques sont verticales et la ligne de séparation du calcaire est marquée par une salbande étroite de débris argileux. A Savenne, les lignes du calcaire et les strates du gneiss sont horizontales ; la masse en exploitation a une forme ovoïde et les couches y sont cambrées.

Le terrain primitif, dans son ensemble, est régulièrement stratifié et ses couches présentent des directions qui coïncident avec l'alignement des arêtes granitiques des montagnes. Il est généralement orienté du N.-N.-E. au S.-S.-O dans une grande partie du Plateau Central ; les strates, dont l'inclinaison est rarement au-dessous de 35 à 40°, deviennent souvent verticales et sont quelquefois même renversées, de sorte qu'elles se mon-

trent dans l'ordre inverse de celui que nous avons indiqué ci-dessus. Il y a eu en outre des dislocations qui ont eu pour effet de contourner et de plisser ces couches.

575. Granite. — Le granite proprement dit constitue dans le Plateau Central des masses considérables, ainsi que des filons qui traversent les schistes cristallins.

La variété la plus répandue est le *granite commun,* à quartz gris plus ou moins translucide, à orthose blanc opaque et à mica très brillant, brun ou noir ; l'oligoclase s'y joint parfois à l'orthose. Tantôt il est à gros grain, tantôt à petit grain ; quand ces deux sortes sont rapprochées l'une de l'autre, l'examen attentif de leur gisement conduit à penser que le granite à petit grain est généralement le plus ancien. Ce dernier passe souvent d'ailleurs au gneiss avec lequel il est intimement associé.

Ainsi dans le massif granitique du Gévaudan et de la Margeride, qui se détache à l'ouest du terrain de gneiss, le granite à gros grain passant au granite porphyroïde occupe généralement l'axe de la chaîne, dévoilant ainsi son origine plus récente, tandis que celui à grain fin forme les versants. Cette disposition se répète sur beaucoup d'autres points.

Dans les environs de Limoges, le gneiss et le granite à grain fin alternent un grand nombre de fois et se pénètrent dans tous les sens.

Le *granite porphyroïde*, qui se distingue par de grands cristaux d'orthose du précédent, auquel il passe d'ailleurs progressivement, a moins d'importance. Il est surtout développé près de la limite des départements de la Lozère, de la Haute-Loire et du Cantal. On le trouve bien caractérisé à Meymac (Corrèze), près de Lormes dans le Morvan et au pied du Puy-de-Dôme. Il empâte parfois des fragments de gneiss.

La *granulite* ou *granite à mica blanc* se trouve dans la Creuse et le Limousin où elle forme des massifs montagneux à dômes arrondis, et où elle est fréquemment traversée par des veines de pegmatite. Dans le Cantal, notamment à l'ouest d'Aurillac, la granulite occupe une vaste région ; elle renferme de nombreux cristaux de tourmaline, et elle passe quelquefois à la

pegmatite graphique. Elle se rencontre également en filons au milieu du granite commun, comme dans le Beaujolais.

Ce granite contient parfois beaucoup d'espèces minérales. Près de Limoges, on y trouve de volumineux cristaux hexagonaux d'émeraude opaque, de l'apatite vert grisâtre, des grenats rouges en cristaux dodécaédriques, du wolfram, de l'urane phosphaté, etc.

Le kaolin qu'on exploite dans les départements de la Haute-Vienne et de l'Allier (n° 434) est le plus souvent le résultat de la décomposition de filons de pegmatite intercalés dans la granulite et liés à des roches amphiboliques.

En dehors du granite, nous citerons encore parmi les roches granitoïdes du centre de la France : les *diabases* et les *diorites*, qui traversent les schistes cambriens du Beaujolais et qu'on observe aussi dans l'Autunois ; les *minettes* et les *kersantites*, qui accompagnent la granulite dans le Morvan.

La granulite paraît être la dernière des roches granitoïdes qui ait fait éruption. Elle serait arrivée à l'époque dévonienne, et ses éruptions n'auraient guère dépassé le début de la période carbonifère, car on la retrouve en galets dans les poudingues du terrain houiller qui s'est déposé dans les anfractuosités du terrain primitif.

L'abondance du granite donne aux montagnes du Plateau Central une physionomie particulière. Ces montagnes, dont le relief s'accuse nettement sur la surface générale du plateau,

Fig. 205. — Montagnes du nord de la Corrèze.

ont des formes arrondies (fig. 205) et, suivant la facilité avec laquelle la roche se désagrège, leurs pentes sont couvertes de fragments rocheux ou de sable.

Ce sable se trouve surtout sur la granulite, bien moins rebelle à la décomposition que le granite commun ; quand il con-

tient une quantité notable de feldspath et de mica, il donne des arènes. Le feldspath, en y subissant une modification chimique, produit une argile qui communique aux arènes les propriétés des pouzzolanes. C'est dans la Bourgogne, le Limousin, le Périgord, que les arènes arrivent à former les dépôts les plus puissants.

Le granite porphyroïde se désagrège aussi avec une assez grande facilité. Ses pentes sont parsemées d'énormes blocs, dont quelques-uns, placés en équilibre instable, peuvent osciller par la plus légère percussion. Ils s'enfoncent en partie dans un sable formé de leurs débris ; quelquefois ils sont placés droits et ils ont été pris par des archéologues inexpérimentés pour des pierres druidiques.

576. Roches porphyriques. — Les roches porphyriques affleurent surtout dans la région N.-E. du Plateau Central, où elles forment trois massifs distincts : 1° dans le Morvan, pays montagneux dont Château-Chinon est le centre ; 2° sur la rive gauche de la Loire, de Roanne à Thiers ; 3° entre ce fleuve et le Rhône, de Tarare à Mâcon.

En outre de ces masses, le porphyre se présente encore sous un autre aspect. Au sud de Roanne, sur le plateau de Neulize, on l'observe au milieu du granite en véritables filons, plus ou moins saillants à la surface, dont la puissance varie de 1 à 200 mètres. Cependant il n'y a pas toujours une séparation aussi nette entre les granites et les porphyres ; en quelques points, on voit des passages gradués des uns aux autres, ce qui montre quelles liaisons étroites rattachent les diverses roches feldspathiques.

On distingue deux espèces principales de porphyre : les *porphyres granitoïdes* et les *porphyres quartzifères*.

Les premiers, ainsi nommés par Grüner à cause de leur ressemblance avec le granite, sont composés d'une masse feldspatique cristalline ou lamelleuse, quelquefois tout à fait compacte, renfermant de nombreuses paillettes de mica et de rares grains de quartz. Le feldspath constitue le minéral prédominant ; il est beaucoup plus abondant que dans le granite proprement dit. Ce porphyre, qui recouvre parfois les premières

assises de l'étage anthracifère, notamment dans la Loire, l'Allier, le Morvan, aurait fait éruption, d'après Grüner, au commencement de la période carbonifère.

Au contraire du granite, qui a souvent une assez grande tendance à se désagréger et dont les escarpements sont constamment arrondis, le porphyre granitoïde, grâce à sa pâte, est très résistant, ses rochers sont aigus et découpés. Dans le tunnel de Sauvage, près de Tarare, on en a recoupé plusieurs filons tel-

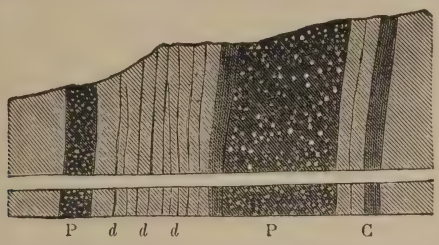


Fig. 206. — Filons de porphyre P recoupés par le tunnel de Tarare. — C, porphyre décomposé. — *d, d, d*, fractures remplies de débris argileux, ou *délits gras*.

lement compacts et tenaces qu'on a eu beaucoup de peine à les traverser (fig. 206). On a constaté de curieux effets de métamorphisme restreint sur les grès schisteux du terrain anthracifère, au milieu desquels ils sont enclavés. Près de leurs épontes ces grès sont désagrégés et décomposés, parfois feldspathisés ; on trouve en outre dans leur voisinage des filons spéciaux de matières décomposées qui leur sont exactement parallèles et qui, comme eux, entrecoupent la stratification générale des couches, dont l'inclinaison est indiquée sur la figure par les hachures. Ce fait s'explique par l'existence de fractures qui ont servi d'évents à des émanations souterraines, dont l'action se propageait de manière à décomposer les roches à une distance plus ou moins considérable.

Le porphyre quartzifère est plus récent que le porphyre granitoïde, car il forme parfois des filons au milieu de ce dernier, et il a apparu après le dépôt des dernières couches anthracifères. Il se compose d'une pâte plus ou moins compacte, quelquefois terreuse, au milieu de laquelle se détachent des cristaux d'orthose, de quartz et de mica, et souvent aussi des nodules irréguliers d'une substance cireuse et tendre qui n'est autre

chose que de la pinite un peu altérée. La pâte est ordinairement rosée, rouge de brique ou lie de vin ; mais souvent elle passe au blanc grisâtre, puis au vert foncé et au gris noir foncé ; dans ce dernier cas, elle est composée d'éléments feldspathiques et de mica.

Parmi les minéraux cristallins que renferme ce porphyre, l'orthose est encore prédominant ; il se présente en beaux cristaux hémitropes, très lamelleux et très éclatants, à côté desquels on voit d'autres cristaux plus petits d'oligoclase. Le quartz est en petits cristaux dodécaédriques dont la forme est très nette.

Considérée en grand, la structure des porphyres quartzifères est massive comme celle de la plupart des roches éruptives. Les fissures y sont moins grandes que dans le granite et le porphyre granitoïde, et on peut facilement l'exploiter en blocs de grandes dimensions, comme à Montreuillon dans la Nièvre (nº 451). Dans quelques circonstances cependant, il offre jusqu'à un certain point la division prismatique du basalte.

Au point de vue de la dureté et de l'inaltérabilité, ce porphyre présente des divergences assez grandes, qui dépendent surtout de la nature de la pâte et de l'abondance plus ou moins grande de la pinite et du mica. Toutefois il se désagrège moins facilement que le granite.

Postérieurement aux porphyres quartzifères, sont encore venues au jour, à travers d'innombrables fractures, des *roches trappéennes*, de couleur noire, qui dans l'Autunois se sont épanchées en coulées. Ces roches sont du même âge que les dernières couches houillères ou que les premières couches permiennes.

La serpentine, que nous rattachons aux roches porphyriques, se trouve en nombreux amas au milieu du gneiss de la Haute-Vienne, mais sans liaison avec cette roche. L'un des gîtes les plus importants, celui du plateau de Roche-l'Abeille, près de Saint-Yrieix, a été exploité ; les blocs extraits ont été débités en plaques et socles d'un très beau poli, dont le fond d'un vert très sombre faisait ressortir les veines asbestoïdes et les cristaux de diallage bronzé enchâssés dans sa masse.

La serpentine ne constitue en général que des masses peu étendues. Le Puy-del-Voll, près de Firmy (Aveyron), fait excep-

tion à cette règle, car cette roche y forme une véritable montagne. Aux environs de la Guépie (Tarn), il y a aussi un important massif de serpentine, traversé sur la plus grande partie de sa longueur par l'Aveyron, qui coule au fond d'une gorge profonde, et entouré de tous côtés par un gneiss très schisteux ; des veinules de calcaire y sont intercalées et il résulte de ce mélange de très beaux marbres verts qui ont été exploités à plusieurs reprises.

577. Filons métallifères. — Le terrain ancien du centre de la France est sillonné par un grand nombre de filons, dont plusieurs ont été ou sont encore l'objet de travaux d'exploitation. Les filons à gangue de quartz, avec ou sans minerai, sont les plus abondants.

Dans le Limousin, on les rencontre surtout au milieu d'une granulite à mica blanc, aux épanchements de laquelle ils sont intimement liés. L'oxyde d'étain se présente, disséminé en veinules ou en cristaux, en quelques points, à Montebras (Creuse), à Chanteloube (Haute-Vienne). L'or natif, d'après la tradition, paraît s'être trouvé là en compagnie de l'étain ; mais il ne devait exister qu'à la tête des filons, qui a été exploitée. A Saint-Léonard, il y a une petite mine de wolfram.

Dans quelques localités du Plateau Central, notamment à La Bessette, on observe des filons irréguliers de pyrite aurifère avec mispickel et quartz.

Les filons plombifères se trouvent surtout à Vialas et sur d'autres points de la Lozère ; ils se rattachent aux roches éruptives de la contrée et ils se sont rouverts plusieurs fois. En étudiant ces réouvertures et comparant les directions, Rivot est arrivé à cette conclusion que les sources minérales qui ont amené la galène ne dateraient que de la fin de l'ère tertiaire ; les galènes les plus riches en argent seraient même plus récentes encore.

Pontgibaud, au pied des plus grands volcans de la chaîne des Puys, est le centre de plusieurs groupes de filons de galène. Ces filons paraissent être en relation avec les éruptions porphyriques qui ont accidenté le sol granitique.

Dans les schistes du Gard et de l'Ardèche, on trouve les fi-

lons d'antimoine sulfuré de Malbosc, ceux de mispickel du Cézallier.

Il y a aussi des gites métallifères affectant une allure différente de celle des filons. Ils se présentent sous forme d'amas lenticulaires entre les plans de stratification ou les clivages du terrain, et la plupart sont le résultat d'émanations ou de phénomènes métamorphiques. Tel est, par exemple, l'amas de fer oxydulé de la montagne de Combenègre, près de Villefranche d'Aveyron, qui est intercalé dans le gneiss.

578. Terres arables. — Les variations de composition du granite se reflètent dans la nature des terres qui résultent de sa désagrégation et de son altération. Quand cette roche est presque entièrement feldspathique, comme au nord de Pompadour, elle donne une couche de terre de plus de trente centimètres d'épaisseur, que recouvrent de magnifiques prairies et où poussent des châtaigniers et des chênes de grandes dimensions. Au contraire, dans la Corrèze et les Cévennes où le quartz abonde, le sol, formé d'une mince couche de sable, est impropre à la végétation, et l'on traverse de vastes étendues de pays sans rencontrer une habitation.

En général, sur les sommets et sur les fortes pentes, la roche est à nu et la terre arable ne se trouve que dans les vallons et sur les versants doucement inclinés. En raison de l'imperméabilité du sol et des fissures qui le traversent, les sources sont très nombreuses, mais d'un faible débit ; ce qui permet aux habitations de se disséminer et à la petite culture de s'établir.

Un des caractères principaux des terres granitiques, c'est d'être pauvres en chaux et en acide phosphorique. Dans leur état naturel, on ne peut guère leur faire produire que du seigle, du sarrazin, des pommes de terre ; mais les chênes et les hêtres y deviennent vigoureux, les châtaigniers y prospèrent presque partout. Quant à la culture du blé, ce n'est qu'à force d'engrais et d'amendements calcaires qu'elle est possible.

Le gneiss fournit des terres semblables à celles qui dérivent du granite ; toutefois il se décompose moins facilement. Quand ses couches sont verticales ou fortement inclinées, le sol meu-

ble qui les recouvre est ordinairement plus profond et moins humide que si elles sont horizontales.

Le micaschiste est d'autant plus facile à décomposer qu'il est plus chargé de mica. Il en résulte une terre argileuse qui n'est susceptible de donner quelque produit que si on y mèle des amendements calcaires. Lorsque la roche est très quartzeuse, elle fournit un sol des plus arides.

Le porphyre quartzifère, par son inaltérabilité à peu près complète et la roideur de ses pentes, produit un sol rocailleux très peu profond, l'un des plus mauvais de ceux que l'on rencontre dans les terrains anciens. On ne peut guère le cultiver que quand la roche a acquis une certaine friabilité par l'abondance des nodules de pinite ; il donne alors à de longs intervalles une maigre récolte de seigle ou de sarrazin. Ce qu'il y a de mieux à faire des coteaux porphyriques, c'est de les planter en pins.

C'est sur le porphyre granitoïde que poussent les crus les plus renommés du Beaujolais ; leurs vins ont un cachet particulier de finesse et de bouquet qui n'existe pas dans ceux qui proviennent de vignes voisines plantées dans les terrains carbonifères. Cette influence du sol est si bien connue des vignerons que, toutes les fois qu'ils le peuvent, ils portent sur ces dernières vignes l'arène produite par la décomposition des porphyres.

§ III.

TYPES ÉTRANGERS DU TERRAIN PRIMITIF

579. Scandinavie. — Le terrain primitif de la Scandinavie est remarquable par le grand développement qu'y prennent les roches amphiboliques.

On observe dans les gneiss de la partie supérieure une roche compacte, très dure, d'apparence homogène, qui ressemble à

un pétrosilex et à laquelle les géologues suédois donnent le nom d'*hälleflinta* [1]. Quand on l'examine au microscope, on reconnaît qu'elle est composée de très petits grains cristallins de quartz et de feldspath, en sorte qu'elle n'est pas autre chose qu'une leptynite très compacte ; quelquefois cependant elle renferme de fines écailles de mica et de chlorite et passe ainsi au gneiss.

L'hælleflinta alterne aussi, au sommet de la série, avec des schistes amphiboliques et des quartzites. C'est même là qu'elle a la plus grande importance, car ces alternances peuvent atteindre plusieurs centaines de mètres. En Norvège, elles sont recouvertes immédiatement par des schistes argileux et micacés.

Les gneiss, surtout quand ils sont amphiboliques, sont souvent imprégnés d'oxyde de fer magnétique et autres minerais métalliques tels que les pyrites de fer et de cuivre, la blende, la galène, le cobalt gris, etc. Ces imprégnations forment des bandes ou zones, désignées par les mineurs sous l'expression de *fahlbandes*, qui s'étendent parallélement à la stratification, et dans lesquelles la minéralisation est d'ailleurs assez inégale ; il arrive quelquefois que les minerais se réunissent en petits amas, de forme plus ou moins régulière, mais toujours disposés de telle façon que leur plus grande surface reste parallèle à la stratification.

Dans les environs de la ville de Kongsberg, célèbre par ses mines d'argent natif, il existe, sur une longueur de 25 kilomètres et une largeur de 12, huit de ces fahlbandes dont la direction générale est nord-sud, comme celle des gneiss. Elles ne sont pas par elle-mêmes assez riches pour être exploitables ; mais elles sont intéressantes pour le mineur par l'influence qu'elles exercent sur les filons métalliques. Ce n'est en effet qu'à leur traversée, au moins en règle générale, que les filons métallifères sont minéralisés.

On peut aussi rencontrer des gîtes métallifères sans qu'ils soient liés à des fahlbandes. C'est ainsi que le minerai de fer, consistant généralement en fer oxydulé et plus rarement en

1. Pierre de roche.

fer oligiste, se trouve en gîtes irréguliers ou en amas lenticulaires intercalés dans le gneiss. Ces amas ne traversent jamais les couches encaissantes comme le feraient des filons ; les feuillets de la roche schisteuse se montrent sur les assises du minerai, que l'on peut suivre parfois en direction sur plusieurs myriamètres. On observe souvent un passage graduel des gîtes à la roche encaissante ; tantôt celle-ci contient du minerai, tantôt au contraire le minerai empâte des fragments de la roche. A Dannemora, près d'Upsal, il y a un grand amas de ce genre, dont la puissance atteint 55 mètres vers le milieu et qui est attaqué sur une longueur de deux kilomètres.

Près de Kragerœ et d'Arendal, dans le sud de la Norvège, ainsi qu'aux environs de Gellivara (Laponie suédoise), l'apatite, ou phosphate de chaux cristallisé, se trouve en filons enclavés dans le terrain primitif. Le remplissage principal est composé d'amphibole en gros cristaux, d'apatite, de rutile, de fer titané ; quand la structure est bréchiforme, ce qui arrive souvent, l'apatite sert pour ainsi dire de lien entre les autres minéraux. Il est malheureusement difficile de la séparer par voie mécanique ; aussi ces gîtes ne sont avantageusement exploitables que quand les divers minéraux constituants sont de dimensions assez grandes pour que le triage à la main soit possible. En revanche, on obtient des produits très purs renfermant de 40 à 45 pour 100 d'acide phosphorique. A Bamble, où l'exploitation est poussée avec le plus d'activité, il y a cinq filons interstratifiés dans les schistes cristallins, dont la puissance varie de 0^m 50 à 2 mètres.

580. Amérique du Nord. — Le terrain primitif de cette contrée a été divisé par les géologues américains en deux parties : l'étage inférieur, ou *étage laurentien*, constitué surtout par des gneiss, ainsi nommé parce qu'on l'a observé d'abord vers le nord du fleuve Saint-Laurent, au Canada, et l'*étage huronien*, du lac Huron, formé de roches vertes amphiboliques et de schistes micacés ou talcschistes. Toutefois il semble probable qu'une bonne partie de ces dernières couches appartient plutôt au terrain cambrien.

Des calcaires cristallins, dont la puissance peut atteindre

300 à 400 mètres, sont intercalés dans les gneiss et se signalent par leur richesse en minéraux accessoires, tels que le grenat, l'épidote, l'apatite, la tourmaline, l'oxyde de fer magnétique, etc. Beaucoup d'entre eux sont dolomitiques ou serpentineux. Quelquefois ils sont très nettement stratifiés et alternent avec des lits de quartzite et d'hælleflinta ; quelquefois aussi ils prennent une structure stratiforme, par suite de la distribution en zones des minéraux que nous venons de nommer. Entre le gneiss et le calcaire, il y a souvent une étroite liaison due à l'alternance de minces lits de calcaire et de gneiss.

C'est dans le calcaire serpentineux du Canada qu'ont été découvertes les apparences de cellules décrites sous le nom d'*Eozoon* (n° 569).

On trouve également, au milieu des gneiss laurentiens, des quartzites grenus ou schisteux et des serpentines en couches de plus de 100 mètres d'épaisseur, souvent nettement stratifiées, avec accompagnement de schistes chloriteux et de talcschistes.

Des amas de minerai de fer, oligiste ou magnétique, sont, comme en Scandinavie, subordonnés à ces gneiss.

L'apatite forme, dans le comté d'Ottawa, des gisements dont l'exploitation remonte à plus de 25 ans. Elle est en cristaux généralement verts, quelquefois rouges, assez souvent de grandes dimensions, rassemblés en nids ou en veines irrégulières au milieu du calcaire cristallin ou d'une roche pyroxémique massive à grains fins. Ces gîtes sont limités, en extension comme en profondeur, mais ils sont assez nombreux pour qu'on ait pu en extraire 25.000 tonnes en 1885.

CHAPITRE XIV

ÈRE PRIMAIRE. — PÉRIODES CAMBRIENNE, SILURIENNE ET DÉVONIENNE

§ I. Généralités sur l'ère primaire. — § II. Système cambrien. — § III. Système silurien. — § IV. Système dévonien. — § V. Massif de l'Ardenne. — § VI. Massif armoricain. — § VII. Gisements ardoisiers. — § VIII. Types divers de terrains de transition.

§ I.

GÉNÉRALITÉS SUR L'ÈRE PRIMAIRE

581. Divisions du groupe primaire. — Le groupe primaire, caractérisé par un ensemble de fossiles tout différents des animaux et des plantes appartenant à l'époque actuelle, se divise en quatre systèmes :

1° Le *système cambrien*, qui se relie au terrain primitif par des schistes encore cristallins ; aussi la séparation est-elle difficile à établir. Vers le milieu de la période, la vie commence à s'essayer par des formes sur la détermination desquelles les paléontologistes sont loin d'être d'accord ; mais bientôt elle prend possession des rivages et des mers et l'on voit apparaître des crustacés très curieux connus sous le nom de *trilobites*, avec quelques brachiopodes ;

2° Le *système silurien*, dans lequel les trilobites atteignent

le maximum de leur développement. La vie continue à progresser. Bientôt les quatre embranchements sont représentés dans cette période ; toutefois les vertébrés n'arrivent qu'à la fin, sous la forme de poissons ;

3° Le *système dévonien*, qui se signale par la décadence des trilobites, dont les derniers représentants disparaissent au commencement de la période suivante. Les poissons abondent ; la végétation terrestre est encore rabougrie et peu développée ;

4° Le *système carbonifère*, caractérisé par l'exubérance de la végétation et le développement des animaux terrestres à respiration aérienne.

On peut définir en quelques mots les grands traits paléontologiques de ces quatre périodes. Dans la période cambrienne apparaît la vie ; la période silurienne est le règne des trilobites, la période dévonienne le règne des poissons et la période carbonifère le règne des plantes.

582. Climat de l'ère primaire. — L'un des caractères généraux les plus saillants de l'ère primaire, à laquelle on donne aussi le nom d'*ère paléozoïque*, est qu'une température égale, sinon supérieure, à celle qui existe actuellement sous les tropiques régnait uniformément sur toute la surface de la terre ; c'est ce qui ressort nettement de l'étude des faunes et des flores paléozoïques de régions situées près de l'équateur ou dans le voisinage des pôles. De plus, cette température se maintenait sans variation sensible d'un bout de l'année à l'autre ; les saisons n'existaient pour ainsi dire pas.

Les géologues se sont appliqués à formuler des théories plus ou moins ingénieuses pour expliquer cette uniformité, qui contraste si complétement avec l'état de choses actuel.

L'idée la plus naturelle est de faire intervenir la chaleur centrale qui, ayant à traverser dans ces époques reculées une moins forte épaisseur de roches, pouvait faire sentir plus vivement son influence sur la température terrestre. Mais si l'on se rappelle que l'écorce primordiale était déjà formée de plusieurs milliers de mètres de gneiss et de micaschistes super-

posés, que dans son ensemble elle n'a guère gagné en épaisseur, puisque l'augmentation produite par les dépôts sédimentaires est compensée par la perte résultant de la dénudation, qu'enfin sa conductibilité thermique est très faible, on reconnaîtra que cette influence ne pouvait aller jusqu'à donner une température tropicale aux régions polaires. Les contrées équatoriales eussent d'ailleurs subi une augmentation semblable et la vie y eût été dès lors impossible pour tout organisme tant soit peu élevé.

Les théories basées sur le déplacement de l'axe des pôles ou sur un glissement de l'écorce solide sur le noyau fluide, de manière à faire arriver successivement toutes les parties du globe dans les zones tropicales pour les soumettre à des températures plus élevées, ne paraissent pas plus satisfaisantes ; car, sans compter qu'il est difficile de les mettre d'accord avec les principes de la mécanique céleste, elles ne rendent pas compte de ce fait de la répartition uniforme de la chaleur par lequel se caractérise l'ère primaire.

Nous écarterons sans les discuter toutes les conceptions de pure imagination, telles que les chocs de comètes ou de bolides, les variations dans la température de l'espace parcouru par le soleil, le réchauffement par un astre vagabond, etc.; ces suppositions, sans être toujours précisément improbables, se condamnent d'elles-mêmes au point de vue qui nous occupe. Nous ne pensons pas non plus qu'il soit possible d'expliquer un fait d'un caractère aussi général par de simples modifications dans le relief du sol ou dans la répartition relative des terres et des mers, comme on le fait quelquefois.

L'hypothèse imaginée par le docteur Blandet, et qu'il a exposée en 1867 dans le *Bulletin de la Société géologique de France*, ne mérite pas les reproches des précédentes. Quoiqu'elle soulève pourtant des critiques fondées, comme d'ailleurs tous les systèmes exclusifs qui ne font entrer qu'un facteur en ligne de compte, c'est celle qui semble donner la solution la moins défectueuse de ce difficile problème de l'uniformité climatérique du globe dans les temps primaires, et nous allons l'exposer en quelques mots.

Le soleil était alors beaucoup plus dilaté qu'il ne l'est ac-

tuellement, et si l'on admet, comme le montre la figure 207, que son diamètre apparent atteignait 2α, c'est-à-dire le double de l'inclinaison de l'écliptique sur l'équateur, ses rayons pouvaient échauffer et éclairer simultanément les deux pôles pendant toute la durée de l'année. Ce soleil, d'un volume extrêmement considérable, remplissait l'orbite de Mercure et englobait cette planète dans sa masse. Cette conception n'a rien d'invraisemblable ; elle revient à dire, comme on voit, que dans les temps primaires le soleil était beaucoup moins avancé dans son évolution astronomique que la terre et qu'il en était encore à son premier stade, tandis que celle-ci avait déjà passé par l'état de nébuleuse et par l'état d'étoile.

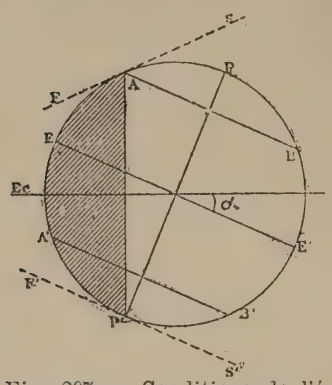


Fig. 207. — Conditions de l'échauffement du globe par un soleil de 47 degrés de diamètre apparent. — PP', axe des pôles; EE', équateur; Ec, écliptique ; AB, A'B', cercles polaires ; SF, S'F', limites du faisceau conique des rayons solaires ; AP', petit cercle limitant la partie échauffée directement ; $\alpha = 23°30$, inclinaison de l'écliptique.

Sans doute, un tel soleil, presque nébuleux, ne devait verser sur la terre, par unité de surface, qu'une chaleur et une lumière moins intenses qu'actuellement, mais le faible éloignement de sa périphérie compensait cette infériorité et rien n'empêche d'admettre que la chaleur interne ne venait elle-même augmenter, dans une proportion restreinte toutefois, la température terrestre.

Il n'est pas nécessaire d'ailleurs de donner au soleil un diamètre aussi grand que celui que nous venons de supposer pour expliquer l'égalité climatérique, car la réfraction devait intervenir à un degré plus élevé que de nos jours et la terre ne possédait alors qu'un relief peu accusé, circonstance favorable à l'uniformité de la répartition de la chaleur.

583. Métamorphisme des terrains primaires. — Les roches primaires, surtout celles des trois premiers systèmes, ont généralement subi à un haut degré l'influence du mé-

tamorphisme. Elles ont rarement conservé leurs caractères primitifs : les grès s'y retrouvent à l'état de quartzites, les calcaires à l'état de marbres ; les argiles y sont endurcies et transformées en schistes ; des cristaux de silicates alumineux, de mica, de chlorite, de feldspath, de fer oxydulé, se sont développés dans leur masse postérieurement à leur dépôt. Ces phénomènes métamorphiques, que nous avons examinés précédemment, sont dus aux éruptions qui ont si fréquemment traversé l'écorce terrestre pendant l'ère paléozoïque et aux violentes actions mécaniques qui en ont accidenté les couches.

Les terrains primaires forment ainsi comme un intermédiaire entre les roches cristallines primitives et les terrains sédimentaires proprement dits, et à cause de cette circonstance, on les désigne souvent sous le nom de *terrains de transition,* que plusieurs géologues restreignent aux systèmes cambrien, silurien et dévonien, parce que les modifications que nous venons de signaler y sont plus accentuées que dans le système carbonifère.

Cette expression devrait être bannie de la science, car elle n'est propre qu'à répandre des idées fausses. Il existe en effet des contrées, comme le nord de la Russie, où les couches siluriennes et dévoniennes, restées sensiblement horizontales, sont formées de roches qui n'ont subi aucun changement postérieur dans leur texture ni dans leur composition et qui contiennent des fossiles identiques à ceux des régions classiques métamorphisées. D'autre part, le métamorphisme ne s'est pas localisé dans l'ère primaire ; il s'est exercé à plusieurs reprises et a rendu cristallines des formations d'âges très divers, en sorte que le mot de terrains de transition n'a pas de signification chronologique ni de sens précis.

Sous le bénéfice de cette observation, nous continuerons cependant à nous en servir à cause de la commodité de son emploi.

§ II.

PÉRIODE CAMBRIENNE

584. Caractères généraux. — Les couches qui constituent le *système cambrien* ont été étudiées pour la première fois par Sedgwick et Murchison dans le Cumberland, en Angleterre ; c'est à cette circonstance qu'elles doivent le nom sous lequel on s'accorde généralement à les désigner. Elles renferment cette remarquable faune de crustacés à laquelle Barrande a donné le nom de *faune primordiale*.

Les assises cambriennes les plus anciennes sont des phyllades qui paraissent un peu moins cristallins que ceux du terrain primitif, auxquels succèdent des schistes argileux à peine cristallins, puis des schistes argileux proprement dits avec intercalation de rares lits de calcaires plus ou moins marmoréens. Des poudingues et des quartzites à tendance souvent schisteuse alternent avec ces roches, surtout dans la partie inférieure de la formation.

Dans la période cambrienne, les continents étaient peu étendus et les mers peu profondes, comme le montre le caractère littoral de la faune et des dépôts. Les êtres étaient conformés pour une vie tout aquatique.

L'écorce du globe était encore fréquemment secouée. Aussi le terrain cambrien est le plus disloqué de tous les terrains sédimentaires ; partout où on peut l'étudier, on trouve ses strates plus ou moins fortement redressées et ondulées.

585. Fossiles cambriens. — Les premiers vestiges organiques que l'on observe dans les couches cambriennes sont les *Oldhamia* (fig. 208 et 209), qui forment de faibles reliefs sur les surfaces de séparation de certains phyllades, des perforations cylindriques ou *Arenicolites*, des traces ondulées appelées *Nereites* (fig. 210).

Les géologues ne sont pas d'accord sur la nature de ces em-

preintes singulières. Pour les uns, les *Oldhamia* seraient les premières plantes qui aient apparu à la surface du globe et

Fig. 208. — *Oldhamia antiqua.*

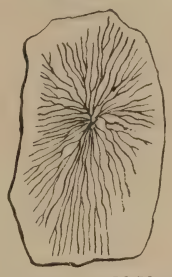


Fig. 209. — *Oldhamia radiata.*

Fig. 210.—*Nereites cambrensis.*

elles appartiendraient à l'ordre des algues. C'est une interprétation qui paraît au premier abord toute rationnelle, car il est permis d'admettre que dans l'ordre de la création les végétaux ont précédé les animaux. Si nous ne trouvons aucun vestige d'origine franchement végétale sur d'immenses épaisseurs de dépôts, cela peut tenir à ce que, à cause de leur nature celluleuse et de leur tissu lâche, les plus anciennes plantes ont dû se décomposer et se détruire facilement sans laisser de traces matérielles de leur existence.

Mais les *Oldhamia* ont des formes trop vagues et trop indécises pour qu'on soit autorisé à les rattacher, autrement qu'avec doute, au règne végétal. Les expériences de M. Nathorst ont montré d'ailleurs qu'on peut tout aussi bien les considérer comme des traces produites par des animaux inférieurs. Quant aux *Nereites*, ce sont sans doute des empreintes de vers ; les *Arenicolites* peuvent avoir été formés par des animaux appartenant à la même classe ou par des bulles gazeuses.

A la suite de ces organismes problématiques, citons encore le *Dictyonema* (fig. 211), que l'on prend tantôt pour une algue, tantôt pour un polypier ou un bryozoaire.

Fig. 211.— *Dictyonema sociale.*

Ce n'est que dans la seconde partie de la période cambrienne que se montrent des formes suffisamment nettes pour être attribuées sans contestation à des êtres organisés, notamment à la classe des crustacés et à celle des brachiopodes.

Trilobites. — Les crustacés sont représentés par les *trilobites*, ces animaux si curieux qui doivent leur nom à ce que leur corps se divise longitudinalement en trois lobes et comprend trois segments distincts : la *tête*, le *thorax* et l'*abdomen* ou *pygidium* (fig. 212).

La tête a la forme d'un large bouclier demi-circulaire ; elle présente une partie centrale renflée, dite *glabelle*, et deux bords latéraux ou *joues*, munies le plus souvent d'yeux à structure très complexe, réticulés comme ceux des insectes ; certaines espèces étaient aveugles et vivaient vraisemblablement dans les profondeurs de l'Océan. Le thorax est composé d'anneaux mobiles, portant des appendices latéraux souvent épineux, ou *plèvres*. L'abdomen est également formé d'anneaux, mais soudés ensemble.

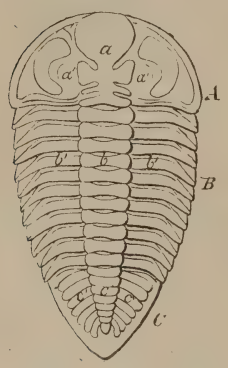


Fig. 212. — Type de trilobite. — A, tête ; *a*, glabelle ; *a'*, yeux. — B, thorax ; *b*, lobe moyen ; *b'*, lobe latéral. — C, abdomen ou pygidium ; *c*, lobe moyen ; *c'*, lobe latéral.

Les trilobites appartiennent au groupe des *mérostomates* [1], dont l'unique survivant est la limule ou crabe des Antilles et qui a pour caractère principal d'avoir la bouche entourée de pattes servant à la fois à la locomotion et à la mastication ; c'est un exemple remarquable de l'emploi d'un même organe pour des usages différents. Outre ces pattes mâchelières, les trilobites portaient d'autres pattes fixées aux anneaux du thorax. Leur test, souvent très orné, était marqué de granulations ou de côtes épineuses.

Grâce à la mobilité des anneaux du thorax, ils avaient la faculté de se rouler en boule, comme le cloporte. C'est un moyen qu'ils employaient sans doute pour se protéger contre l'attaque de leurs ennemis.

Ces animaux dénotent déjà une organisation avancée. Ils ont été étudiés avec un grand soin par Barrande, qui a passé la plus grande partie de sa vie au milieu des terrains primaires de la

[1] Μηρος, cuisse ; στομα, bouche.

Bohême et qui en a décrit une quantité de genres et d'espèces.

Parmi les genres spéciaux au système cambrien, nous citerons le *Paradoxides* (fig. 213), le plus grand de tous les trilobi-

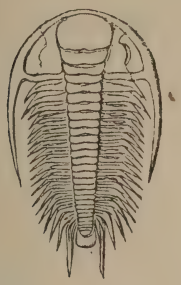


Fig. 213. — *Paradoxides bohemicus.* (1/3 à 1/4 grandeur naturelle)

Fig. 214. — *Olenus micrurus.* (1/2 grandeur naturelle)

tes, qui se distingue par un thorax très développé, un petit abdomen et une tête dépourvue d'yeux se terminant en arrière en deux grandes pointes dites *pointes génales*, et l'*Olenus* (fig. 214), qui apparait plus tard et a une très petite taille.

Brachiopodes. — Les brachiopodes, animaux à coquille bivalve et à bouche entourée de deux grands bras ciliés, dont quelques naturalistes font un embranchement spécial établissant la transition des mollusques aux vers, sont les premiers mollusques en date. Le genre le plus répandu est le *Lingula* (fig. 215), ainsi nommé à cause de sa ressemblance avec une langue, qui vit encore dans nos mers actuelles. Certaines assises cambriennes du Pays de Galles en renferment une telle quantité qu'on les désigne sous le nom de *lingula flags*, ou *dalles à lingules*.

Fig. 215. — *Lingula Davisii* (1/2 gr. nat.). — *a*, coquille dans son état naturel ; *b*, coquille tordue par la schistosité.

586. Division en étages et distribution géographique. — A l'exemple de M. de Lapparent, nous diviserons le système cambrien en deux étages : l'*étage ardennais* et l'*étage scandinavien*.

Le premier, dont l'un des meilleurs types européens se

trouve dans l'Ardenne française, entre Mézières et Givet, est très simple comme constitution minéralogique, car il ne renferme guère que des phyllades et des schistes argileux, avec lesquels alternent des quartzites. Il n'est caractérisé au point de vue paléontologique que par les vestiges que nous avons cités plus haut sous les noms d'*Oldhamia*, *Nereites*, *Arenicolites*.

L'étage scandinavien, remarquablement développé en Suède et en Norvège, comprend toutes les couches à trilobites et à brachiopodes.

C'est surtout en Angleterre, dans le Shropshire et dans le Pays de Galles, que le système cambrien présente la série la plus complète. A part l'étage ardennais, il est moins bien représenté dans l'Ardenne. En France, on l'observe encore dans l'Armorique, dans les Pyrénées centrales et en quelques points de la bordure du Plateau Central.

Le système cambrien affleure aussi en Bohème, en Espagne, au Brésil, et surtout dans l'Amérique du Nord.

Les matières utiles de ce système consistent principalement en ardoises et en quartzites d'une grande dureté, excellents pour l'empierrement des routes. Les plaques schisteuses peuvent être employées pour les constructions grossières.

§ III.

PÉRIODE SILURIENNE

587. Caractères généraux. — Le *système silurien* a été ainsi nommé par Murchison qui en a pris le type dans le pays des Silures, petite peuplade celtique qui, à l'époque de l'invasion romaine, habitait le Pays de Galles.

Au point de vue paléontologique, la période silurienne se caractérise par l'épanouissement définitif de la vie en tant qu'elle est représentée par les invertébrés. Vers la fin apparaissent les vertébrés sous la forme de poissons ; M. Lindstrom a

même signalé dernièrement un scorpionide très voisin des scorpions actuels, qu'il a rencontré dans les assises supérieures du système silurien de Suède. On voit aussi des plantes terrestres ; mais c'était encore une maigre végétation, composée presque exclusivement d'humbles *lycopodiacées*.

Ces faits indiqueraient que les continents commençaient à s'esquisser. Cependant la faune est encore essentiellement marine et surtout de nature littorale ; les espèces d'eaux profondes sont relativement rares. Les plages avaient donc conservé une grande extension et les mers une faible profondeur en général. Toute la partie septentrionale de l'Europe était sous les eaux. Le sol n'avait pas encore acquis de stabilité et il était soumis à de fréquents mouvements d'oscillation.

La faune n'a plus tout à fait autant d'uniformité que précédemment, et on voit déjà quelques indices de localisation dans la population animale, qui n'était pas entièrement la même dans le pays de Galles et en Scandinavie.

588. Faune silurienne. — *Crustacés.* — C'est dans la période silurienne que les trilobites parviennent à leur apogée. Il nous offrent alors une grande variété de formes : les *Calymènes* (fig. 216), à glabelle accidentée de deux sillons, dont les

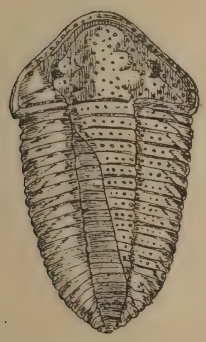


Fig. 216. — *Calymene Blumenbachi.*

Fig. 217. — *Trinucleus ornatus.*

Fig. 218. — Abdomen d'*Homalonotus Vicaryi.*

trois parties du corps sont bien proportionnées et qui ont des yeux à facettes très développées ; les *Trinucleus* (fig. 217), sans

yeux, qui possèdent trois bosses ou noyaux et dont le bouclier céphalique a un bord en fer à cheval ; les *Homalonotus* (fig. 218), chez lesquels la trilobation de la tête est à peine apparente et qui ont un abdomen triangulaire ; les *Ogygia*, à corps elliptique (fig. 219), à thorax relativement court, à glabelle distinctement délimitée ; les *Asaphus*, les *Dalmanites*, etc.

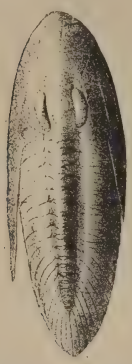


Fig. 219.— *Ogygia Guettardi.*

Céphalopodes. — Les céphalopodes atteignent dans la période silurienne un développement comparable à celui des trilobites. De tous les mollusques ce sont les mieux représentés, et ce qu'il y a de remarquable c'est qu'ils font pour ainsi dire une éclosion subite, en débutant par les types les plus avancés en organisation.

Les céphalopodes les plus abondants sont les *Nautilides*, à coquille cloisonnée comme celle du *Nautile flambé*, le seul représentant actuel de cette nombreuse famille dont on connaît plus de 1.600 espèces siluriennes. L'animal se tenait dans la première loge, et les suivantes lui servaient d'allège comme la vessie natatoire des poissons. Cette coquille est tantôt complétement enroulée, comme chez le nautile; tantôt droite comme chez l'*Orthocère* (fig. 220), avec un siphon placé au centre ou sur le côté, tantôt simplement courbée comme chez les *Cyrtoceras*, les *Lituites*. Parmi ces animaux, il y en avait de taille géante; certains orthocères mesuraient 2 mètres de longueur.

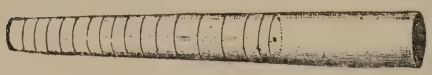


Fig. 220. — Orthocère.

Brachiopodes. — Les brachiopodes sont la classe de mollusques siluriens la plus importante après les céphalopodes. Nous citerons notamment le genre *Pontamerus* (fig. 221), limité au silurien à part quelques espèces qui persistent dans le dévonien, ainsi nommé parce que les deux valves sont divisées par une cloison centrale qui forme quatre chambres et que, dans l'une des valves, la cloison contient elle-même une chambre, ce qui fait cinq en tout ; l'*Atrypa*, à coquille bombée avec stries rayonnantes, dont une espèce l'*A. Reticularis* (fig. 222) est extrê-

mement répandue et se trouve également dans le système dévonien ; l'*Orthis*, dont la grande valve offre, sous le crochet, un espace percé d'une ouverture triangulaire.

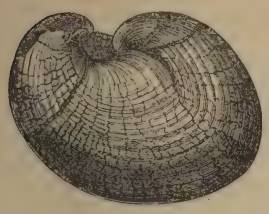


Fig. 221.

Fig. 222.

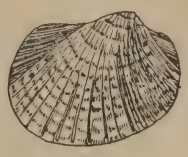


Fig. 223.

Gastéropodes ; acéphales. — Les gastéropodes et surtout les bivalves sont moins abondants et l'on peut à peine y trouver des genres exclusivement siluriens. Nous nous contenterons de mentionner le *Cardiola interrupta* (fig. 223), à coquille renflée, presque orbiculaire, comme l'un des bivalves les plus communs et les plus facilement reconnaissables.

Echinodermes. — La classe des échinodermes comprend surtout, dans la période silurienne, des *astéries* et des *crinoïdes*.

Les astéries ou étoiles de mer (fig. 224), rares encore, ont le plus souvent la forme d'une étoile à cinq rayons et leur corps est couvert de plaques dures fréquemment épineuses. Elles forment plusieurs genres dont quelques-uns ont encore des représentants dans les mers actuelles.

Les crinoïdes, ou encrines, se trouvent avec plus d'abondance dans les dépôts siluriens, surtout à leur partie supérieure. Ils ont un corps, ou *calice*, formé par un grand nombre de pièces articulées, renfermant les organes essentiels, et entouré de *bras* également articulés et quelquefois ramifiés à l'infini. La plupart sont fixés au sol par une tige flexible, rectiligne, composée d'un grand nombre de disques empilés les uns sur les autres, auxquels on donne, quand ils sont isolés, le nom d'*entroques*. La forme de ces disques, qui est presque toujours circulaire ou pentagonale, et les stries de leurs faces en contact, fournissent

1. Πεντα, cinq ; μερος, partie.

de bons caractères pour la distinction des genres et des espèces.

Fig. 224. — *Ophiura constellata*, du silurien supérieur.

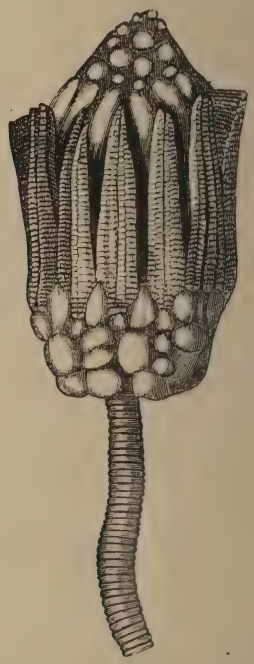


Fig. 225. — *Eucalyptocrinus Buchii*, du calcaire de Wenlock (Angleterre).

Les encrines ressemblent ainsi à de petits palmiers animés. Elles forment dans le fond des mers de véritables prairies sous-marines et leurs débris ont souvent servi à constituer des couches puissantes. Tel est le cas pour l'*Eucalyptocrinus Buchii*, (fig. 225), dont les restes abondent dans le calcaire de Wenlock.

Dans nos mers, l'ordre des crinoïdes n'est plus représenté que par six genres comprenant en tout 15 espèces, presque toutes récemment découvertes et habitant les grandes profonfondeurs de l'Océan.

Graptolithes. — Les graptolithes,[1] qui tapissaient comme une

1. Γραπτος, écrit ; λίθος, pierre.

mousse les rochers sous-marins, peuvent compter parmi les êtres les plus remarquables de la période silurienne. Leurs formes sont extrêmement variées (fig. 226) : ce sont généralement des tiges creuses supportant des loges ou cellules disposées régulièrement, parfois comme les dents d'une scie, et qui sont tantôt

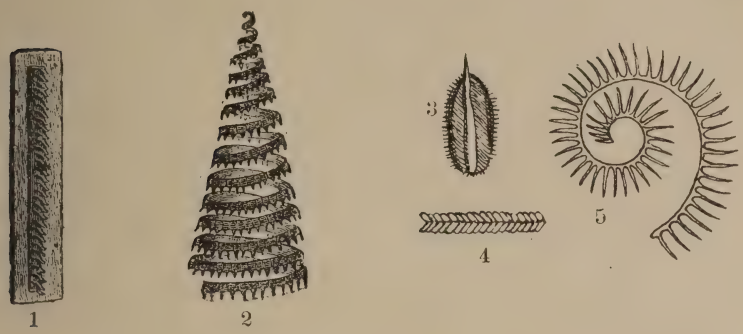


Fig. 226. — Graptolithes. — 1. *Monograptus priodon*. — 2. *Monograptus turriculatus*. — 3. *Phyllograptus typus*. — 4. *Diplograptus palmeus*. — 5. *Rastrites peregrinus*.

droites ou recourbées, tantôt enroulées en spirale. Chacune de ces cellules renfermait probablement un animal distinct, soudé à ses voisins de façon à former une colonie à la manière des polypiers agrégés.

La détermination de ces singuliers fossiles a donné lieu à bien des discussions. On les a considérés comme des plantes, des annélides, des foraminifères et même des céphalopodes. L'opinion la plus vraisemblable est celle qui les rattache aux polypiers ou aux bryozoaires.

Les graptolithes se trouvent dans le système silurien tout entier et ne s'étendent pas au-delà ; aussi ils constituent d'excellents repères pour le classement des couches de ce système. On les rencontre parfois en grand nombre sur des plaques schisteuses où ils paraissent avoir été comprimés, et il est à remarquer que ces roches ont alors une nuance noirâtre due à une assez forte proportion de carbone. Pour expliquer la présence du carbone, il faut admettre que le tissu des graptolithes était composé en majeure partie d'éléments carbonés, ou, ce qui est plus probable, que ces animaux se développaient principalement

sur les points où abondaient les algues et les fucus, dont la décomposition a formé la matière noirâtre des schistes à graptolithes.

589. Division en étages et distribution géographique. — On peut diviser le système silurien en deux étages : l'*étage armoricain*, très développé dans la presqu'île armoricaine, et l'*étage bohémien*, qui tire son nom de la Bohême où il est remarquablement représenté.

Ces deux étages correspondent aux *faunes deuxième* et *troisième* de Barrande. Dans l'armoricain, il y a peu de céphalopodes, tandis qu'ils sont nombreux et variés dans le bohémien, qui contient en outre beaucoup de brachiopodes. Chacun de ces étages a d'ailleurs des genres de trilobites qui lui sont spéciaux.

Dans la période silurienne, toute la partie septentrionale de l'Europe était sous les eaux. Aussi les dépôts siluriens sont très répandus dans les îles Britanniques, la Scandinavie et surtout la Russie. Ils forment en Europe une seconde zone dont les caractères paléontologiques sont un peu différents de la précédente et qui s'étend en France (Armorique, Languedoc, Pyrénées), en Espagne, dans le Portugal, dans le Hartz, en Saxe.

C'est dans l'Amérique du Nord que le système silurien atteint sa plus grande expansion. On le trouve aussi au Brésil, en Asie et en Australie.

§ IV.

PÉRIODE DÉVONIENNE.

590. Caractères généraux. — Entre les systèmes silurien et carbonifère, il existe dans plusieurs contrées, et notamment en Ecosse, des couches de schistes et de grès teintés en

rouge par l'oxyde de fer, dont les fossiles sont presque exclusivement des poissons, et que les anciens géologues avaient désignés sous le nom d'*old red sandstone* ou *vieux grès rouge*, à cause de leur position au-dessous de la houille, et par opposition à la dénomination de *new red sandstone*, donnée à un grès analogue qui se trouve plus haut que le combustible minéral.

A la suite d'études faites dans le Devonshire, Sedgwick et Murchison découvrirent un ensemble de couches ayant la même position stratigraphique que le vieux grès rouge, mais avec des caractères minéralogiques très différents et une faune également différente. Ils donnèrent à cet ensemble le nom de *système dévonien*, en y englobant le vieux grès rouge.

La période dévonienne est une période de repos relatif pour l'écorce du globe ; tout au moins les dislocations tendent à devenir moins fréquentes qu'aux époques précédentes. Si dans beaucoup de contrées les assises dévoniennes sont encore tourmentées, elles se montrent en Russie, sur une grande étendue, dans une position à peu près horizontale, régulièrement recouvertes par le système carbonifère.

Aussi les masses continentales s'installent et la vie ne reste plus confinée dans les mers. La végétation, quoique encore rachitique dans son ensemble, devient plus abondante et plus variée, car aux lycopodes se joignent des fougères et même quelques conifères, de manière à présenter déjà une certaine ressemblance avec la flore carbonifère qui doit lui succéder. Les poissons se développent dans les estuaires ; les insectes ailés se montrent assez nombreux vers la fin de la période. Les assises, qui précédemment se composaient surtout de schistes et de quartzites et qui avaient le caractère de dépôts formés dans des eaux agitées ou peu profondes, nous présentent les calcaires en plus grande abondance.

591. Faune dévonienne. — La faune dévonienne paraît être moins riche que celle du silurien. Un grand nombre d'animaux se sont éteints et les formes nouvelles qui apparaissent ne compensent pas les pertes. Nous verrons cette décroissance du monde animal s'accentuer à mesure que nous avancerons dans les temps primaires.

Poissons. — Les poissons, qui avaient fait leur apparition vers la fin de la période précédente, se multiplient avec une profusion extraordinaire dans le dévonien. Ils offrent des formes spéciales et ont des caractères anatomiques qui ont fait dire à Agassiz qu'ils représentaient l'état embryonnaire de la classe des poissons.

Agassiz rapporte ces poissons aux deux ordres des *ganoïdes* [1] et des *placoïdes* [2]. Les premiers, représentés actuellement par l'esturgeon, ont des écailles épaisses, en forme de

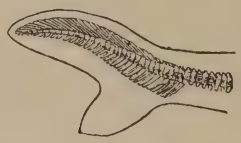


Fig. 227. — Queue de poisson hétérocerque.

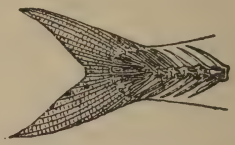


Fig. 228. — Queue de poisson homocerque.

plaques osseuses couvertes d'un émail brillant et juxtaposées comme les pavés d'une rue. Les placoïdes ont la peau chagrinée ou incrustée de petits corps osseux qui tiennent lieu d'écailles, comme chez les squales, ou portent de larges plaques épineuses disposées sans régularité, comme la raie.

Tandis que les poissons actuels sont presque tous *homocerques* [3], c'est-à-dire à queue symétrique (fig. 228), les poissons primaires sont *hétérocerques* [4] (fig. 227), de telle sorte que le lobe supérieur est plus allongé que le lobe inférieur, ce qui tient à la conformation anatomique de la queue. De plus ces poissons ont le squelette cartilagineux ou au moins incomplètement ossifié, mais ils compensent cette infériorité par les sortes de cuirasses dont ils sont revêtus ; leur corps est déprimé, leur tête est aplatie, leur crâne est incomplet.

On n'a pas encore recueilli de squelettes complets de placoïdes. Les seuls restes que l'on ait trouvé se réduisent à des

1. Γανος, éclat ; ειδος, apparence.
2. Πλαξ, plaque.
3. Ομος, égal et κερκος, queue,
4. Ετερος, différent,

dents et à des épines de nageoires appelées *ichthyodorulites*[1].

Fig. 229. — *Cephalaspis Lyelli.*

Les ganoïdes nous ont été beaucoup mieux conservés. Parmi ces animaux, nous citerons les *Cephalaspis* (fig. 229), dont la tête est recouverte par un bouclier en forme de croissant, au

Fig. 230. — *Coccosteus decipiens.*

milieu duquel se trouvent les yeux tournés vers le haut et dont le corps est protégé par des plaques allongées et transversales qui le font ressembler à un crustacé ; les *Coccosteus* (fig. 230), à

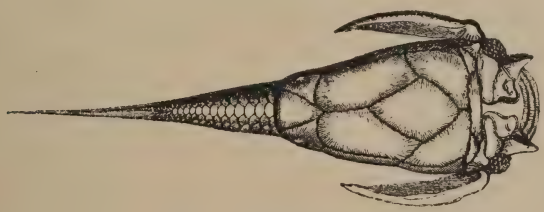


Fig. 231. — *Pterichthys latus.*

large tête couverte de six plaques, à carapace formée aussi de six fortes pièces, avec une nageoire dorsale et une anale ; les

1. Ἰχθύς, poisson ; ὄρυν, lance ; λίθος, pierre.

Pterichthys (fig. 231), dont la tête est très petite, le corps protégé par une épaisse cuirasse, les nageoires pectorales transformées en appendices servant d'armes offensives, la queue, écailleuse, munie d'une toute petite nageoire ; les *Holoptychius* (fig. 232), remarquables par les dimensions de

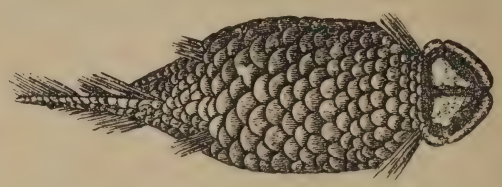


Fig. 232. — *Holoptychius nobilissimus.*

leurs écailles arrondies, dont les os du crâne sont transformés en boucliers ornés et émaillés.

Articulés. — Les trilobites, si communs dans la période précédente, diminuent beaucoup d'importance. Les genres les plus répandus sont le *Phacops* (fig. 233), le *Bronteus* (fig. 234), etc., datant déjà du silurien ; le premier se présente souvent roulé en boule ; le second, dont on trouve rarement la tête à un état parfait de conservation, se reconnaît à son abdomen en forme d'éventail.

Fig. 233. — *Phacops latifrons.*

Fig. 234.
Bronteus flabellifer.

Il y a en outre des crustacés de grande taille appartenant, comme les trilobites, à l'ordre des mérostomates et qui s'é-

taient déjà montrés dans la période silurienne. Tel est le *Pterygotus anglicus* (fig. 235), de 2 m. 50 de longueur, qu'on rencontre dans le vieux grès rouge d'Ecosse où les carriers le connaissent sous le nom de *Séraphin*.

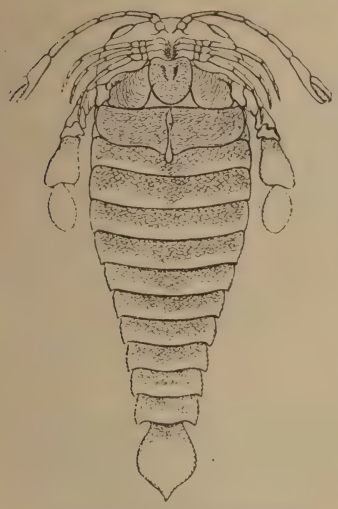


Fig. 235. — *Pterygotus anglicus.*

Au nombre des premiers articulés terrestres, nous mentionnerons des insectes ailés dont les restes se trouvent dans les couches supérieures du dévonien d'Amérique. Ce sont surtout des libellules qui avaient des pattes organisées de manière à produire par le frottement un bruit analogue à celui du criquet. Les insectes existaient déjà, à la vérité, dans le silurien, mais en très petit nombre.

Mollusques. — Les céphalopodes sont surtout représentés par des *goniatites* (fig. 236) et des *clyménies* qui atteignent leur maximum de développement ; leur coquille enroulée est pourvue de cloisons, non plus simples comme celles du nautile, mais sinueuses et découpées en dents de scie, en sorte qu'on peut considérer ces animaux comme les précurseurs de la grande famille des *ammonites*, spéciale au groupe secondaire.

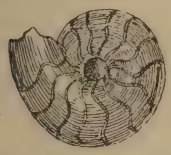


Fig. 236. — *Goniatites retrorsus.*

Mais les céphalopodes cèdent le pas aux brachiopodes, qui se présentent avec une grande abondance d'espèces et d'individus. Les espèces les plus caractéristiques appartiennent aux genres *Spirifer, Rhynchonella, Terebratula, Athyris, Stringocephalus, Leptæna.*

Les spirifères, qui vivaient déjà dans les mers siluriennes, et qui s'éteignent dans la période du lias, sont ainsi nommés parce que leurs bras étaient soutenus par une charpente calcaire interne, roulée en spirale (fig. 237) qu'on peut quelquefois apercevoir quand on parvient à séparer les deux valves

de la coquille [1]. Quoique non exclusivement dévonien, ce genre fournit beaucoup de formes caractéristiques pour cette

Fig. 237. — Spirifère dont la coquille est ouverte de manière à laisser voir l'organisation interne de l'animal.

Fig. 238. — *Spirifer Verneuilli.*

Fig. 239. — *Spirifer speciosus.*

période, surtout les espèces à longues ailes, étirées dans le sens de la largeur, comme le *Spirifer Verneuilli* (fig. 238), le *Spirifer speciosus* (fig. 239), etc.

Les rhynchonelles (fig. 240) se sont prolongées jusqu'à nous. Les térébratules,[2] qui ont également survécu sans s'être

Fig. 240. — *Rhynchonella Wilsoni.*

sensiblement modifiées, se distinguent des rhynchonelles en ce que le crochet qui termine leur grande valve est perforé, tandis que ce caractère fait défaut chez ces dernières qui ont un crochet aigu.

1. En Chine les spirifères dévoniens se vendent chez les pharmaciens comme médicaments.
2. *Terebratus*, perforé.

Les stringocéphales (fig. 241) sont tout à fait spéciaux au système dévonien et ne le dépassent pas. Ils doivent leur nom à ce fait que le crochet de leur grande valve est recourbé à la manière d'un bec de chouette[1]; ils ont une coquille lisse qui ne porte aucun des ornements de celle des spirifères.

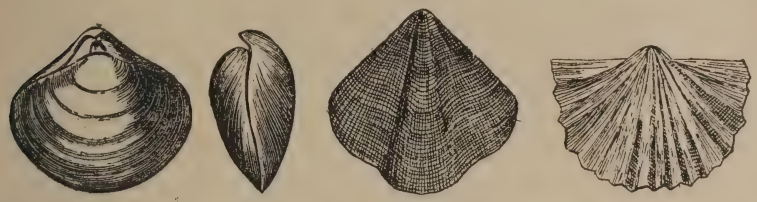


Fig. 241. — *Stringocephalus Burtini.* Fig. 242 *Athyris undata.* Fig. 243 *Leptæna Murchisoni.*

Les *Athyris* (fig. 242) présentent des formes très variées. Les *Leptæna* (fig. 243), voisins des *Orthis*, s'en distinguent par une charnière plus large.

Les gastéropodes sont un peu plus nombreux que ceux de la période silurienne, mais ils n'en diffèrent pas beaucoup, parce que les modifications organiques s'opèrent chez eux avec une extrême lenteur; leurs espèces, et à plus forte raison leurs genres, persistent longtemps. Citons comme genre

Fig. 244. — *Murchisonia angulata* du calcaire de Givet.

Fig. 245. — *Cardium palmatum* des schistes de Matagne.

spécial au dévonien le *Murchisonia* (fig. 244). Quant aux acéphales, nous mentionnerons le *Cardium* (fig. 245).

1. Στρίγξ, chouette; κεφαλή, tête.

Crinoïdes. — Les crinoïdes abondent dans certains bancs du dévonien. L'un des genres les plus répandus est le *Cupressocrinus* (fig. 246).

Fig. 246. — *Cupressocrinus crassus.*

Polypiers. — Les polypiers, ou madrépores, qui ont joué un rôle si considérable dans la constitution de l'écorce terrestre en s'assimilant les sels calcaires qui se trouvent en disso-

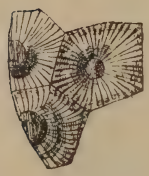


Fig. 247. — *Cyathophyllum hexagonum*, des schistes de la Famenne.

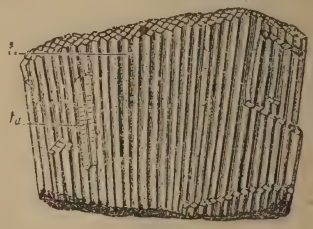


Fig. 248. — *Favosites punctata* de la Baconnière (Mayenne). — *ta*, tables ; *t*, trous. — D'après M. Gaudry.

lution dans les eaux de mer et édifiant de véritables îles au milieu de l'Océan, avaient déjà apparu dans les âges précédents. Mais ce n'est que dès la période dévonienne qu'ils commencent à acquérir une réelle importance.

Des madrépores comme le *Cyathophyllum* (fig. 247), le *Favosites* (fig. 248), prennent un si grand développement qu'ils constituent des bancs entiers. Il est à remarquer que ces animaux, presque tous subdivisés en étages par des planchers, sont construits sur des types tout à fait différents des polypiers plus récents. Tandis que chez ces derniers, le nombre des *lamelles*, ou plaques pierreuses supportant les organes de la reproduction, est toujours un multiple de 6 (sauf quelques exceptions), ce nombre est un multiple de 4 dans les types paléozoïques.

Deux genres de polypiers isolés sont tout à fait spéciaux à la période dévonienne. Ce sont le *Pleurodyctium problematicum* (fig. 249) et le *Calceola sandalina* (fig. 250).

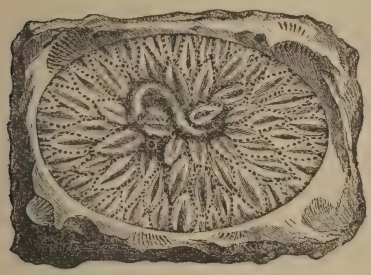


Fig. 249. — *Pleurodyctium problematicum.*

Fig. 250. — *Calceola sandalina.*

Le premier, dont le nom indique assez l'embarras dans lequel se sont trouvés les paléontologistes pour le déterminer, est le moule interne d'un polypier à cloisons perforées. On observe presque toujours au centre un tube de ver sur lequel il était fixé.

Le second, qui ressemble à une sandale, est remarquable par l'existence d'un opercule qui ferme sa cavité et qui permettait à l'animal de s'enfermer, comme le fait un mollusque dans sa coquille. Pendant longtemps on l'a considéré comme un brachiopode, un acéphale et même un rudiste.

L'absence complète des graptolithes, en opposition avec leur fréquence dans le système silurien, peut être regardée comme un caractère négatif du dévonien.

592. Division en étages et distribution géographique. — Il est peu de régions qui se prêtent aussi bien à l'étude du système dévonien que celle qui s'étend dans les Ardennes française et belge et l'Eifel jusqu'au-delà du Rhin. Aussi c'est là que nous prendrons les types des trois étages entre lesquels on le divise.

L'étage inférieur porte le nom d'*étage rhénan ;* il est essentiellement schisteux ou arénacé et se signale par la prédominance des spirifères et par le *Pleurodyctium problematicum.*

L'*étage eifélien*, très développé dans l'Eifel, est presque entièrement calcaire ; on y trouve des calcéoles et des stringocéphales. C'est celui qui possède la faune la plus variée et la plus riche en formes.

L'étage supérieur, *famennien*, tire son nom de la Famenne, petite contrée belge située au nord de Givet, entre la Lesse et l'Ourte. Il est schisteux et arénacé, comme l'étage inférieur ; on y rencontre *Spirifer Verneuilli* et de nombreuses espèces de rhynchonelles.

En dehors des régions que nous venons de signaler, on observe le terrain dévonien en France dans la presqu'île armoricaine, le Boulonnais, les Vosges, les montagnes du Var, les Pyrénées. A l'étranger, nous le signalerons dans les îles Britanniques, le Hartz, la région de l'Oural, les Asturies, l'Amérique du Nord, le Brésil.

La distribution du dévonien n'est pas la même que celle du silurien. Tout l'espace occupé dans le nord par la mer silurienne était alors émergé ; l'existence d'un vaste continent polaire dans la période dévonienne est bien démontrée par ce fait que les dépôts dévoniens de la partie septentrionale de l'Europe et de l'Amérique sont composés de grès rouges qui représentent une formation de rivage.

§ V.

MASSIF DE L'ARDENNE

593. Configuration générale. — L'Ardenne, qui forme la pointe septentrionale du département des Ardennes et qui s'étend surtout en Belgique, est une partie du grand massif de transition qui va de Maubeuge jusqu'au-delà du Rhin. On peut la regarder comme l'extrémité occidentale des monts Hercyniens, qui se développent du nord de la France aux plaines de la Pologne et dont les autres membres principaux sont le Hundsrück, le Taunus, le Thüringerwald, l'Erzgebirge et le Riesengebirge.

En France, elle est constituée dans sa région centrale par des schistes et des quartzites appartenant au système cambrien (fig. 251). Les couches dévoniennes se montrent en stratification discordante avec le cambrien, au nord de Fépin jusqu'au-delà de la frontière, au sud entre Bogny et Charleville. Le système silurien fait complétement défaut.

Cette contrée montagneuse constitue un vaste plateau dont l'altitude moyenne est de 400 mètres et dont le point le plus élevé ne dépasse pas en France 504 mètres. Elle est découpée par des fractures profondes, qui sont encaissées entre des parois généralement abruptes montrant les couches fortement redressées et plissées, soit par leurs tranches, soit par leurs plans unis comme des glacis de maçonnerie, et qui sont aussi pittoresques que les plateaux sont tristes et monotones.

Les sommets sont parfois déchiquetés d'une manière bizarre. Les parties saillantes consistent en quartzites qui ont mieux résisté aux dégradations que les schistes entre lesquels ils sont intercalés.

Parmi les fractures qui traversent le massif ardennais, la plus importante est la vallée de la Meuse. Cette rivière, qui prend sa source dans les environs de Langres, coule pendant longtemps à l'est de l'Argonne en suivant les contours des terrains jurassiques ; il semble qu'elle devrait continuer à se diriger vers la pente générale de la contrée en longeant le pied de l'Ardenne, de manière à jeter ses eaux dans l'Oise et à devenir ainsi un affluent de la Seine. Mais à partir de Mézières, elle fait une inflexion brusque et se précipite vers le nord dans cette grande fracture préparée à la recevoir et dont l'entrée était originairement obstruée par des débris de roches. La présence de ce barrage l'a seulement forcée à s'élever et à s'étaler autour de Mézières en un lac dont on peut reconstituer les rives, grâce aux cailloux roulés qui s'observent encore à une assez grande hauteur au-dessus du fond de la vallée actuelle.

Fig. 251. — Coupe de l'Ardenne. — 1, Système cambrien ; 2, étage rhénan ; 3, étage eifélien ; 4, étage famennien ; 5, système carbonifère ; 6, groupe secondaire ; 7, groupe tertiaire.

Nous allons suivre cette vallée qui nous permet de pénétrer dans la structure du sol de l'Ardenne et nous en ouvre pour ainsi dire les entrailles. Procédant par ordre chronologique, nous étudierons d'abord le système cambrien.

594. Système cambrien. — M. Gosselet distingue dans le système cambrien de l'Ardenne française quatre assises qui se présentent dans l'ordre suivant quand on se dirige du nord au sud, de Fumay à Bogny (fig. 252) :

1. Phyllades de Fumay.
2. Schistes de Revin.
3. Phyllades de Deville.
4. Schistes de Bogny.

La première assise se compose exclusivement de phyllades violets ou rougeâtres, tachetés de vert, intercalés entre des

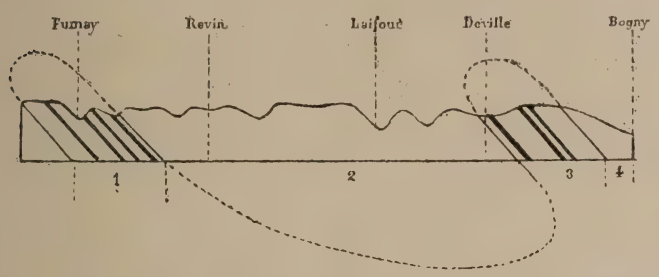


Fig. 252. — Coupe du cambrien de la vallée de la Meuse. — 1. Phyllades de Fumay; 2, Schistes de Revin ; 3, Phyllades de Deville ; 4, Schistes de Bogny. — Les traits noirs accentués indiquent les couches ardoisières.

massifs épais de quartzites verts et blancs et de schistes gris verdâtre. M. Jannel a trouvé dans cette assise, près de la station d'Haybes-sur-Meuse, l'*Oldhamia radiata* et des traces de vers qui ont été rapportées au *Nereites cambrensis.*

Ces phyllades, activement exploités pour ardoises, sont formés d'une substance micacée, dont la composition se rapproche de celle de la séricite, de chlorite et de silice à l'état de quartz ou de calcédoine. Au microscope, on y découvre un grand nombre de minéraux cristallisés qui ont dû se former avant le durcissement de la pâte encaissante, tels que la staurotide, le mica, la tourmaline, le grenat, l'oligiste, etc. Il y a en outre une substance charbonneuse qui, dans bien des cas, est l'élément colorant.

L'*assise de Revin* consiste en schistes noirs pyritifères, charbonneux, et quartzites noirs ou grisâtres. De Fumay à Revin, les schistes prédominent, tandis que de Revin à Deville ce sont les quartzites. Ces schistes ne sont généralement ni assez durs, ni assez homogènes, pour pouvoir servir comme ardoises ; cependant on les exploite dans ce but à peu de distance de la limite septentrionale de l'assise, dans les collines

au sud de Fumay. Quant aux quartzites, ils fournissent d'excellents matériaux d'empierrement, surtout quand ils ont une coloration foncée ; ils donnent lieu, dans les environs de Monthermé, à une exploitation importante qui occupe un grand nombre d'ouvriers et dont les produits sont expédiés au loin.

On n'a encore signalé qu'un seul fossile à Revin : c'est le *Dictyonema sociale*, qui se trouve aussi à Spa dans les mêmes schistes.

Les phyllades de l'*assise de Deville* alternent, comme dans l'assise de Fumay, avez des quartzites verdâtres ou blanchâtres. Ils ont une coloration grisâtre ou verdâtre, plus rarement bleue, et renferment souvent, outre les éléments que nous avons signalés plus haut dans les phyllades de Fumay, des cristaux octaédriques, visibles à l'œil nu, d'oxyde de fer magnétique ; on les exploite pour la fabrication de l'ardoise. Les quartzites sont également exploités pour l'empierrement des routes ; mais ils sont moins estimés que ceux de l'assise revinienne, parce qu'ils sont moins tenaces.

L'*assise de Bogny* se compose de schistes noirs pyritifères et de quartzites noirs ou gisâtres et ressemble beaucoup à celle de Revin. On n'y a pas encore trouvé de fossiles, non plus que dans celle de Deville.

Toutes les couches que nous venons de décrire plongent vers le sud, avec une inclinaison de 28° à 45°. Si l'on s'en tenait à l'ordre de superposition, celles de Fumay seraient les plus anciennes et celles de Bogny les plus récentes. Les premières représenteraient seules l'étage ardennais, et tout le reste, qui présente à sa base le *Dictyonema sociale*, rencontré dans l'étage scandinavien du Pays de Galles, correspondrait à ce dernier étage. Mais les caractères paléontologiques sont trop vagues pour qu'on puisse donner cette assimilation autrement qu'avec doute.

Il n'y a rien d'impossible d'ailleurs à ce que, dans le mouvement qu'ont subi les couches cambriennes, il n'y ait eu renversement complet ; de la sorte l'assise de Bogny serait la plus ancienne. Le célèbre géologue belge André Dumont a encore exprimé une autre opinion : pour lui, il y a

identité entre les assises de Bogny et de Revin, de même entre celles de Deville et de Fumay, et c'est par suite d'un plissement gigantesque, dans lequel les voûtes auraient été ultérieurement enlevées par une puissante érosion, comme le montre la figure 252, que toutes les couches plongent maintenant dans le même sens.

595. Système dévonien. — Si l'on se reporte à la coupe de la figure 251, on verra que, au nord de Fumay, le système dévonien forme dans les schistes cambriens deux bassins séparés par une bande schisteuse étroite, que l'on a appelée *crête du Condroz* [1], et qui est encore visible à la surface du sol en quelques points où elle n'est pas masquée par des couches plus récentes. Le premier est le *bassin de Dinant* ; le second, moins large, est le *bassin de Namur*. Tous deux étaient encore occupés par la mer carbonifère, qui a achevé de les remplir de ses sédiments.

Cette disposition relative des terrains paléozoïques met en évidence les dislocations qui ont affecté la région ardennaise à deux reprises différentes. Un premier mouvement a soulevé et ridé les dépôts cambriens ; puis, après une longue émersion qui a duré pendant toute la période silurienne, la mer a envahi les dépressions en fond de bateau des schistes et y a déposé des couches dévoniennes et carbonifères. Celles-ci ont été à leur tour soumises à une compression énergique, qui s'est exercée sur tout l'ensemble du massif et qui s'est produite, comme nous le verrons plus loin, vers le milieu de l'époque houillère.

A ces deux époques de dislocation correspondent deux phases de métamorphisme, dont l'indépendance est démontrée par la présence, dans les poudingues de la base du dévonien, de galets de schiste ottrélitifère provenant du cambrien. L'ottrélite étant évidemment un minéral de métamorphisme, le système cambrien était donc déjà modifié, lorsque le système dévonien a été, à son tour, soumis à la même influence.

1. Le Condroz est un pays situé à l'est de l'Entre-Sambre-et-Meuse, entre la Meuse et l'Ourte.

Le bassin de Dinant n'est pas seulement plus étendu que celui de Namur. Il présente une série plus complète et plus variée du système dévonien, car les trois étages rhénan, eifélien et famennien y sont représentés, tandis que l'autre ne renferme que les deux derniers étages, qui s'y montrent avec des caractères différents et une épaisseur moindre. Nous nous bornerons à examiner le bassin de Dinant.

596. Étage rhénan. — Le système dévonien commence par un poudingue à cailloux roulés de quartzites et de schistes cambriens noyés dans une pâte schisteuse, qui s'est formé sur le rivage de la mer. Mais, au lieu de contourner en bande régulière le massif cambrien, ce dépôt littoral ne se montre que de place en place, presque toujours sous l'aspect d'énormes rochers isolés.

La *Roche à Fépin*, située à 330 m. d'altitude sur la rive droite de la Meuse, en face du village de ce nom, est un des points qui montrent le mieux la disposition de ce poudingue. Là il est juxtaposé contre les schistes cambriens (fig. 253) en

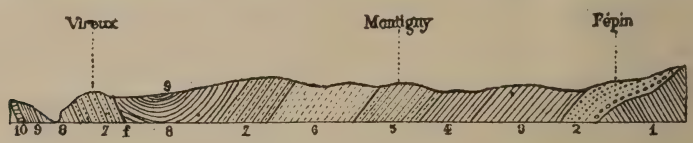


Fig. 253. — Coupe de la vallée de la Meuse entre Fépin et Vireux (d'après M. Gosselet). — 1. Schistes cambriens. — 2. Poudingues de Fépin, arkose d'Haybes et schistes fossilifères de Mondrepuits.— 3 et 4. Schistes bigarrés d'Oignies et de Saint-Hubert. — 5. Grès d'Anor. — 6. Grauwacke de Montigny. — 7. Grès de Vireux. — 8. Schistes rouges de Vireux. — 9. Grauwacke d'Hierges. — 10. Schistes à calcéoles. — *f*. Faille.

pénétrant même dans leurs anfractuosités et repose plus bas sur leur tranche ; ses galets sont énormes et quelques-uns atteignent un volume de 5 à 6 mètres cubes. La falaise qui bordait la mer dévonienne avait en ce point 150 mètres de hauteur. Il serait difficile de trouver un plus bel exemple de discordance de stratification.

Du côté opposé du massif cambrien, sur le rivage sud de la mer dévonienne, on voit encore très nettement le poudingue de la base du rhénan à la *Roche aux Corpiats*, énorme rocher

superposé en stratification discordante aux schistes et quartzites de Deville, que l'on a ouvert à l'aide de la mine pour le passage d'une route (fig. 254).

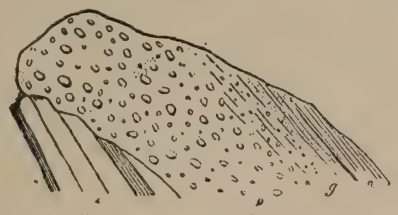


Fig. 254. — Roche aux Corpiats. — *s*, schistes et quartzites cambriens; *p*, poudingue; *g*, grès; *n*, schistes noirs pyritifères.

L'*arkose d'Haybes*, qui succède au poudingue de Fépin, est formée de grains de quartz réunis par une pâte feldspathique avec de petits cristaux de tourmaline. Elle a déjà une plus grande régularité d'allure; cependant, il n'est pas toujours facile de l'observer, parce que, comme la matière feldspathique y est altérée, les eaux de pluie l'entraînent et parviennent ainsi à désagréger la roche en la réduisant en une arène semblable à celle que donne le granite. Aussi, presque partout où l'arkose devrait affleurer, se trouve une vallée ou plaine tourbeuse, dans laquelle on ne voit saillir de place en place que quelques blocs qui ont résisté à l'altération.

Dans le bois de Fépin, on exploite cette roche pour en faire des moellons et des pavés de très bonne qualité. Sur la rive droite de la Meuse, il y a une carrière ouverte dans des bancs d'arkose qui alternent avec des schistes où l'on a trouvé des débris d'une espèce d'algue.

Vers la partie supérieure, l'arkose commence à alterner avec les *schistes fossilifères*, qui ne tardent pas à devenir prédominants et qui contiennent par places de nombreux fossiles, notamment à Mondrepuits (Aisne). Ce sont des trilobites des genres *Dalmanites* et *Homalonotus*, des spirifères, des étoiles de mer, des *Tentaculites* (fig. 255), organismes incertains qui paraissent être des ptéropodes[1] ou plutôt des vers, etc.

Fig. 255. — Tentaculites.

Sur la côte S.-E. du massif cam-

1. Ordre de la classe des gastéropodes.

brien, l'arkose et les schistes n'existent pas. Ils sont remplacés par des schistes noirs ou bleu foncé, revêtant parfois les caractères de l'ardoise, au-dessus desquels on rencontre des quartzites verdâtres marqués de taches rouges caractéristiques. Ces quartzites, au milieu desquels sont ouvertes de grandes carrières, entre autres à Braux, se séparent en dalles plates et se divisent rhomboïdalement ; ils fournissent les meilleurs moellons du pays et sont d'un grand emploi dans les constructions.

On trouve en outre, au milieu des schistes noirs, à Naux dans la vallée de la Semois, un banc calcaire de 5 à 6 mètres, qui est le plus ancien calcaire du pays et dont on peut faire de la chaux hydraulique.

Les *schistes bigarrés*, qui succèdent aux schistes fossilifères, ont une coloration rouge lie de vin ou vert clair, et contiennent quelques bancs d'arkose intercalés. On les rencontre aussi au S.-E. près de Charleville, où ils forment l'escarpement du Mont-Olympe.

Viennent ensuite des alternances de grès et de grauwacke que M. Gosselet divise en cinq assises renfermant des fossiles communs. C'est d'abord le *grès d'Anor*, de couleur rose, grise ou blanche, rarement fossilifère ; on n'y a trouvé de fossiles, consistant en *Leptæna Murchisoni, Spirifer paradoxus*, *Pleurodyctium problematicum*, etc., que près d'Anor (Nord) où il est exploité pour pavés. On l'exploite aussi à Montigny, dans la vallée de la Meuse. On y observe parfois du grenat et de l'amphibole, développés par le métamorphisme. Ce grès forme une zone de 500 à 1.500 mètres de largeur, presque partout couverte de bois. On le retrouve avec les mêmes caractères dans le Hundsrück, ainsi que dans le Taunus, sur la rive droite du Rhin.

La zone de la *grauwacke de Montigny*, formée de grauwacke alternant avec des grès et des schistes, est très fossilifère ; plusieurs de ses fossiles sont identiques à ceux du grès d'Anor, notamment le *Pleurodyctium problematicum* et le *Leptæna Murchisoni*. Les schistes peuvent devenir assez fissiles pour être propres à la fabrication de l'ardoise (Alle en Belgique). Cette zone renferme quelques amas lenticulaires de calcaire

qu'on peut exploiter comme pierre à chaux et même comme marbre ; tel est le cas au Bochet, près de Charleville, où il y a une ancienne carrière de marbre.

Le *grès de Vireux*, très dur, très pauvre en fossiles, fournit d'excellents pavés. Il forme, comme le grès d'Anor, une bande élevée couverte de bois.

Les *schistes rouges de Vireux* sont également peu fossilifères, mais ils se laissent aisément reconnaître à leur couleur. Vers l'est, on voit se développer dans la partie supérieure de cette assise un ou deux bancs de poudingue.

La *grauwacke d'Hierges*, qui termine cette longue série, a dans son ensemble une coloration brune ou noirâtre. Elle est très fossilifère ; on y trouve le *Pleurodyctium problematicum*, plusieurs espèces de *Spirifer*, de nombreuses encrines dont quelques-unes sont enroulées sur elles-mêmes, etc. C'est là qu'apparaît pour la première fois dans l'Ardenne l'*Atrypa reticularis*, qui devient très abondant plus haut.

Cette zone contient vers sa base des couches de grès grossier, dur et siliceux, exploité à Vireux et à Hierges. A sa partie supérieure il y a une couche de minerai de fer, remarquable par sa teneur en manganèse, que l'on a extrait près de Vireux et surtout à Trélon (Nord) et à Mommignies (Belgique).

597. Étage eifélien. — L'étage eifélien, de composition bien plus simple que le rhénan, comprend deux termes : les *schistes à calcéoles* et le *calcaire de Givet* (fig. 256).

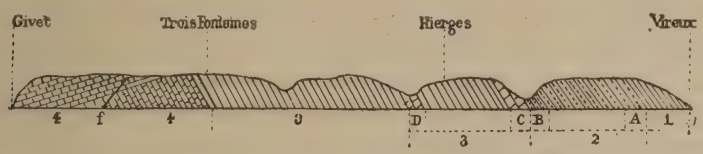


Fig. 256. — Coupe du dévonien entre Vireux et Givet (d'après M. Gosselet). — 1. Schistes rouges de Vireux. — 2. Grauwacke d'Hierges ; A, niveau du *Spirifer arduennensis* ; B, niveau du *Spirifer cultrijugatus*. — 3. Schistes à calcéoles ; C, D, bandes de calcaire. — 4. Calcaire de Givet ; *f*, faille.

Les schistes à calcéoles sont surtout caractérisés par l'apparition du calcaire qui jusque-là était extrêmement rare et qui forme d'abord des nodules, puis des lentilles, parfois as-

sez épaisses et assez étendues pour constituer de véritables couches. Ainsi à Couvin (Belgique), sur 1.000 mètres d'épaisseur pour toute cette zone, il y a plus de 500 mètres d'un calcaire bleu foncé, ayant la dureté et la compacité du marbre, qu'on a souvent confondu avec le calcaire de Givet, auquel il ressemble beaucoup par ses caractères lithologiques. Ce calcaire est exploité dans de nombreuses carrières.

Les fossiles sont assez abondants dans les schistes. Outre le *Calceola sandalina*, on rencontre le *Spirifer speciosus* et quelques autres espèces de spirifères, le *Phacops latifrons*, des *Orthis*, etc.

Le calcaire de Givet est une assise de calcaire marmoréen bleu foncé ou noir, à cassure unie ou légèrement conchoïde, qui laisse dégager par le choc une odeur fétide. Sa stratification est fort irrégulière ; les bancs sont très inclinés et bouleversés et l'on peut voir sous les fortifications de Charlemont un pli, accompagné d'une faille, qui change de 90 degrés la direction des couches. Il est traversé par des veines de calcite blanche ou rosée et renferme des géodes tapissées de cristaux de la même substance et de fluorine violette. Il est assez fossilifère ; son fossile caractéristique est le *Stringocephalus Burtini*.

L'épaisseur de l'assise est au maximum d'environ 400 mètres ; mais on ne peut la déterminer que d'une manière approximative, à cause des plissements et des failles dont le calcaire est affecté.

Le calcaire de Givet, qui se prolonge à l'est vers Rochefort dans la province de Namur, forme une crête élevée que les cours d'eau franchissent soit dans des fentes étroites comme la Meuse à Givet, soit en profitant de cavernes souterraines, comme la Lesse à Han près de Rochefort (n° 58).

Près de Givet, des carrières importantes occupant de nombreux ouvriers sont ouvertes dans ce calcaire, qui est susceptible de recevoir le poli et se débite facilement à la scie. On en fait de la pierre de taille, des marches d'escalier, des bordures de trottoirs, des bacs, des éviers ; il est malheureusement gélif. On s'en sert aussi pour la fabrication de la chaux grasse.

C'est également de cette assise que proviennent le marbre *Sainte-Anne* de Givet, riche en polypiers ; le marbre *Charlemagne*, à taches rouges et brunes, à nombreux gastéropodes (notamment *Murchisonia angulata*), exploité sous la citadelle de Charlemont; le *Glageon fleuri*, noir avec flammes blanches, actuellement épuisé, qui était extrait de carrières situées près du village de Glageon (Aisne), dans lesquelles il reste d'autres bancs de marbres estimés ; le *Sainte-Anne de Trélon*, dont on a retrouvé une très ancienne carrière, dite *carrière des moines*, près du bourg de ce nom.

D'après M. Dupont, ces marbres auraient une origine essentiellement corallienne. Ils seraient formés par un mélange serré de polypiers et appartiendraient à des récifs entourés de schistes grossiers.

598. Étage famennien. — Si, après avoir traversé le calcaire de Givet, nous continuons à descendre la vallée de la Meuse, nous entrons dans l'étage famennien. M. Gosselet, que nous conserverons comme guide, divise cet étage en quatre assises, qui sont, suivant leur ordre de superposition et d'ancienneté :

4. Psammites du Condroz.
3. Schistes de la Famenne.
2. Schistes de Matagne.
1. Schistes et calcaire de Frasne.

Les *schistes de Frasne* contiennent, comme les schistes à calcéoles, des masses calcaires disposées non pas en bancs réguliers, mais en lentilles plus ou moins étendues n'ayant entre elles aucune liaison.

Ces masses, plus dures que les schistes, ont mieux résisté qu'eux aux agents destructeurs et elles se présentent en saillie à la surface. A Frasne (Belgique), l'une d'elles a 500 ou 600 mètres d'épaisseur. A la Croix de Fromelennes, près de Givet, on exploite comme marbre un rocher calcaire isolé qui offre de belles nuances rougeâtres, mais qui est trop fissuré pour donner de gros blocs. Les masses calcaires sont également très développées aux environs de Marienbourg et de Philippeville ; près de cette dernière ville on voit de nombreux

pitons de marbre rouge famennien qui flanquent des bandes de calcaire bleu eifélien.

On distingue jusqu'à quatre niveaux fossilifères dans les schistes de Frasne. Nous signalerons, parmi les fossiles les plus abondants, le *Spirifer Verneuilli* et l'*Atrypa reticularis*, qui atteignent une taille prodigieuse. Il y a en outre plusieurs autres espèces de spirifères, des trilobites (*Bronteus*), des goniatites, des polypiers, etc.

Cette assise ne fait qu'effleurer la pointe nord du département des Ardennes. Les suivantes ne se trouvent qu'en Belgique.

Les *schistes de Matagne* sont des schistes noirs, durs, homogènes, pyriteux, et contiennent le *Cardium palmatum* avec de nombreuses espèces de goniatites et une rhynchonelle très abondante. Ces schistes, que leur couleur fait distinguer de loin dans les chemins et les champs, constituent une zone très régulière, souvent couverte de prairies et de marécages.

Les *schistes de la Famenne*, de nature plus grossière et plus argileuse que les précédents, recouvrent surtout la Famenne, qu'ils rendent presque stérile. On ne peut guère admettre qu'ils aient une épaisseur égale à celle qu'indiqueraient leurs affleurements et il est probable qu'ils sont affectés de nombreux plissements, qui ramènent plusieurs fois les mêmes couches au niveau du sol. On y trouve encore le *Spirifer Verneuilli* et plusieurs espèces de rhynchonelles.

L'assise des *psammites du Condroz* qui, comme les précédentes, renferme le *Spirifer Verneuilli*, fossile caractéristique de tout l'étage famennien, est essentiellement formée de *psammites*[1], variété schistoïde et micacée de grès, dure et fournissant d'excellents pavés dans le Condroz.

Ces grès sont recouverts par des calcaires et des schistes dont la faune contient un mélange de fossiles dévoniens et carbonifères. C'est une zone de passage qu'on peut rattacher indifféremment à l'un ou à l'autre des deux systèmes.

599. Roches ignées. — Le système cambrien de l'Ardenne française est traversé par de nombreux filons de quartz

1. Ψσαμμος, sable.

blanc laiteux à éclat gras, qui sont peut-être les cheminées par où passait la matière siliceuse qui a transformé les schistes et les grès en quartzite, et par plusieurs filons de porphyre et de diorite.

Ces dernières roches sont intercalées dans les schistes parallèlement à la stratification et leurs gisements, qui paraissent lenticulaires, sont concentrés dans une bande assez étroite dont la direction générale est oblique à celle des couches cambriennes. Les choses se passent comme si les plans de stratification s'étaient ouverts en certains points, sur le parcours d'une ligne d'éruption qui aurait donné passage soit à des roches d'épanchement, soit à des agents capables de métamorphiser profondément les schistes sur une faible étendue.

C'est aux environs de Mairus et de Laifour, dans la vallée de la Meuse, qu'on peut le mieux étudier ces roches. A Mairus, il y a une masse très remarquable, entaillée par les travaux du chemin de fer de Charleville à Givet, consistant en un porphyre quartzifère qui renferme, dans une pâte gris bleuâtre, des cristaux de quartz et de feldspath. Ces derniers, qui ont quelquefois plus de quatre centimètres de longueur, consistent surtout en oligoclase ; mais il y a aussi des cristaux d'orthose presque toujours arrondis et fréquemment entourés d'une auréole d'oligoclase, comme dans le granite globuleux de la Finlande (n° 429). Les gros cristaux sont fissurés et renferment des quantités notables de la pâte porphyrique qu'ils ont empâtées. Cette pâte a une texture gneissique et ses éléments essentiels sont le quartz, le feldspath et surtout le mica noir, qui a une tendance marquée à se placer à plat suivant le plan des bancs et à se contourner autour des cristaux de dimensions un peu grandes. Toute la masse a une disposition symétrique à partir de son axe ; les schistes sont métamorphisés à son contact, de telle sorte qu'il y a pour ainsi dire passage graduel entre les deux sortes de roches.

La diorite, que l'on rencontre dans le ravin de Mairus, sur les flancs des rochers des Dames de Meuse près de Laifour, ainsi que sur les bords de l'étang de Rimogne, est une roche dure, tenace, vert foncé, qui présente aussi une variété schisteuse et qui passe souvent au porphyre. On a essayé d'en

faire des pavés ; mais on y a renoncé parce qu'elle devient trop glissante à l'usage.

Le mode de formation de ces roches est encore incertain. M. de Lavallée-Poussin les considère comme des couches régulièrement intercalées dans le terrain cambrien et dont la texture est due au métamorphisme, tandis que, pour la plupart des géologues, elles sont le résultat de l'injection d'une matière granitique entre les strates. La découverte récente du granite au-dessous du cambrien, sur le plateau dit *Hohe Venn*, entre Aix-la-Chapelle et Montjoie, donne une grande force à cette dernière manière de voir. Il est à présumer en effet, ainsi que permettait déjà de le penser l'existence de bancs d'arkose à la base du dévonien, que le granite se trouve aussi en profondeur dans la région de l'Ardenne française.

600. Agronomie de l'Ardenne. — L'Ardenne contraste complètement, aussi bien au point de vue agronomique qu'au point de vue orographique, avec la contrée qui s'étend au sud de Mézières.

Dans cette dernière contrée, le sol, qui appartient au groupe secondaire, est mollement ondulé, les vallées sont larges et spacieuses ; le terrain, composé de couches alternatives de calcaire et d'argile, permet à l'agriculture de se développer dans de bonnes conditions.

Les schistes et les quartzites qui dominent dans l'Ardenne ne fournissent au contraire qu'un sol à peu près improductif. Presque toute la population s'est concentrée dans les vallées et dans leur voisinage, où elle trouve une terre plus profonde et des eaux plus saines, en même temps que des voies de transport de toutes sortes, grâce auxquelles elle a pu tirer parti des ressources minérales du pays et s'adonner à l'industrie.

Sur les hauteurs s'étendent surtout des landes de genêts ou de bruyères, de mauvaises pâtures, des marécages tourbeux connus sous le nom de *fagnes* ou *fanges*. Les forêts, qui occupent aussi de vastes étendues, réussissent sur les versants peu inclinés ou les plateaux qui ne sont pas trop humides.

On comprend sans peine qu'un sol aussi ingrat soit impro-

pre, à moins de grandes dépenses, à la production régulière des céréales et que la culture forestière soit celle qui lui convient le mieux. Les racines des arbres peuvent puiser, à des profondeurs qui seraient inaccessibles pour les graminées, les substances minérales qui leur sont indispensables et, dans les points bien exposés et qui réunissent d'ailleurs d'autres conditions favorables, on obtient souvent de beaux produits ; les écorces de chêne notamment, qui n'ont besoin pour se développer que d'une faible quantité d'acide phosphorique, sont renommées pour leur richesse en tannin et constituent l'une des plus précieuses ressources du pays.

Mais les feuilles, en tombant sur le sol, augmentent chaque année la réserve de la couche superficielle en principes minéraux utiles, dans des conditions favorables à leur assimilation par les végétaux. L'instinct de nos ancêtres avait compris quel parti pouvait être tiré de cette lente accumulation. C'est ainsi qu'a pris naissance cette ancienne pratique agricole connue sous le nom de *sartage,* qui remonte au moins à huit siècles et qui consiste à semer du seigle, et quelquefois du sarrazin, dans les coupes récentes des forêts, c'est-à-dire tous les 20 ou 25 ans.

On répand sur la surface du sol, entre les souches exploitées, les branchettes dont on ne peut faire du charbon et l'on y met le feu par un temps calme. La flamme convertit en cendres les bois répandus, le gazon et toutes les plantes qui végètent sur la terre ; quelques jours après on procède à l'ensemencement. Plus souvent, on ramasse toutes les matières combustibles qui se trouvent sur le sol, et on en forme de petits tas qu'on recouvre de gazon et qu'on fait brûler ; après quoi on étale les cendres. Ce second procédé est moins dangereux que le premier, qui met parfois le feu aux taillis voisins.

Un hectare donne en moyenne, par le sartage, 20 hectolitres de seigle qui, pour ne prendre que l'un des éléments nécessaires à leur production, renferment 18 kilogrammes d'acide phosphorique. Or les feuilles tombées pendant une révolution de 20 à 25 ans, à raison de 3.000 à 3.500 kilogrammes chaque année, contiennent à peu près la moitié de ce poids ; que l'on

ajoute l'acide phosphorique fourni par les brindilles, les menus bois et le gazon et celui qui est apporté par les pluies, et l'on verra que la plante peut n'emprunter directement au sol qu'une faible partie de l'acide phosphorique dont elle a besoin.

Ce n'est pas à dire cependant que le sartage soit à recommander. Ce procédé primitif de culture a pu rendre autrefois des services à une population qui habitait un pays pauvre, privé de toute communication avec les contrées agricoles plus favorisées, mais son rôle est fini et on n'essarte plus guère que par routine. En somme, une récolte de seigle enlève au sol quatre fois plus d'acide phosphorique en une seule année qu'une coupe de bois pratiquée tous les 20 ou 25 ans. Dans des terrains aussi pauvres, c'est donc par la culture exclusive des bois qu'on retardera le plus l'épuisement du sol.

L'agriculture est en somme à peu près nulle en dehors des vallées. Les habitants de Rocroi, le seul centre de population de quelque importance qui existe sur les hauteurs de l'Ardenne française, n'ont même pu créer les ressources nécessaires à leur alimentation. Autour de cette ville, bâtie dans une grande clairière de la forêt des Ardennes, on ne voit que des pâturages d'un assez maigre produit. Ces espaces non boisés s'appellent des *rièzes*. C'est là qu'a été livrée la bataille de Rocroi en 1643.

§ VI.

MASSIF ARMORICAIN

601. Configuration générale. — La presqu'île armoricaine est un vaste massif entouré de tous côtés par la mer, sauf à l'est où il est limité par une ligne ondulée allant à peu près du nord au sud, de Valognes à Falaise, Alençon, Angers, Parthenay, puis de là se dirigeant à l'ouest vers les Sables d'Olonne.

Ce massif, qui comprend au centre la Bretagne avec une partie du Maine et de l'Anjou, au nord le Cotentin et au sud la Vendée, est formé presque entièrement de terrain primitif et de terrains de transition, traversés par des roches cristallines ; quelques dépôts carbonifères et des lambeaux tertiaires le recouvrent çà et là. Il se distingue très nettement par ses caractères géologiques et topographiques des terrains jurassiques et crétacés qui le bordent à l'est et qui pénètrent souvent dans les anfractuosités de son ancien rivage.

La structure de la Bretagne a été reconnue il y a déjà longtemps avec beaucoup de sagacité par Pouillon-Boblaye. Elle consiste en deux vastes plateaux se dirigeant de l'ouest à l'est et séparés par une dépression longitudinale, ou bassin intérieur, qui s'étend de la rade de Brest jusqu'aux limites du bassin hydrographique de la Vilaine.

Le plateau méridional, longé au sud par l'Océan, s'appuie au nord sur les collines de la baie de Douarnenez et la chaîne des Montagnes Noires, dont les altitudes s'élèvent à 350 mètres ; il est sillonné par un grand nombre de vallées, et la côte du Morbihan, qui le termine au sud, est découpée par des sinuosités profondes et multipliées.

Le plateau septentrional commence dans le Finistère où il supporte la chaîne des montagnes d'Arrée, dont les crêtes schisteuses ont au plus 400 mètres de hauteur et qui, malgré cette altitude relativement faible, sont remarquables par la rapidité de leur élévation Il se déprime fortement en face du golfe que forme la mer entre Saint-Malo et Granville ; puis, en se dirigeant vers l'est, on trouve la chaîne de quartzite de Domfront et de Mortain, qui a la même direction que la précédente et à laquelle se rattachent les montagnes de la forêt d'Ecouvres au nord d'Alençon.

Chacun de ces deux plateaux forme un pli anticlinal dont l'axe est constitué pour le premier par des roches primitives injectées de granite, et pour le second par des couches schisteuses des terrains de transition que sillonnent également des injections granitiques. Quant à la dépression centrale, elle correspond à une série de plissements, à peu près dirigés de l'est à l'ouest et qui constituent autant de petits bassins. La

coupe ci-dessous (fig. 257), empruntée à Dufrénoy, rend compte de cette disposition.

Fig. 257. — Plissements des terrains de transition entre Rennes et Nantes. — A, granite; B, grès; C, D, schistes.

La direction E.-O., prédominante en Bretagne, n'est pas la seule qu'affectent les accidents du sol armoricain. La direction N.-S. est nettement accusée par l'ancien rivage oriental, ainsi que par la chaîne schisteuse qui forme l'axe sinueux du Cotentin, de Cherbourg à Coutances et Mortain, où elle se croise avec la chaîne E.-O., pour se prolonger en s'abaissant vers Candé.

Les montagnes granitiques de la Vendée, qui se rattachent à celles du Morbihan, consistent en plateaux et collines peu élevées, presque toujours arrondies, dont les sommets ne dépassent pas 300 mètres et qui semblent disposés sans ordre. La direction des saillies les plus accentuées y indique cependant un alignement général N. O.-S. E. marqué encore par la vallée de la Sèvre et le rivage de l'Océan.

En somme, abstraction faite de quelques arêtes, le sol a peu de relief en Bretagne et, comme le fait remarquer Burat, c'est ce qui explique l'allure généralement lente des eaux et la largeur des rivières eu égard au volume débité. Aussi le Loir, la Sarthe, la Mayenne, sont navigables avec des volumes qui seraient tout à fait insuffisants dans les contrées du centre de la France.

602. Dislocations du sol. — L'allure que nous avons signalée plus haut dans la constitution de la Bretagne est une conséquence des dislocations qu'a subies cette contrée. Il est facile de voir qu'elle a été soumise à des refoulements énergiques qui se sont opérés perpendiculairement à la direction

de la grande dépression centrale, c'est-à-dire à peu près suivant un méridien.

Ces refoulements, qui ont plissé et fracturé le sol en déterminant des fentes dans lesquelles se sont introduites les roches éruptives, ont eu lieu à diverses reprises. Ils ont dû commencer, suivant M. Barrois, à la suite de la période cambrienne pour s'accentuer à l'époque carbonifère.

Puis, après un long espace de temps pendant lequel tout le sol armoricain est resté émergé, un nouveau mouvement, qui s'est produit au commencement de l'ère tertiaire, a amené l'invasion de la mer jusque dans la région centrale du massif, comme en témoignent les petits lambeaux tertiaires qui couronnent plusieurs sommets. C'est alors que le sol de la Bretagne s'est nivelé.

603. Terrain primitif. — Les affleurements du terrain primitif dessinent une bande, orientée N. O.-S. E. comme les accidents de relief, qui traverse toute la Vendée. On les observe aussi dans la région occidentale de la Bretagne, au sud du Cotentin, et en quelques autres points. Ce terrain, qui se compose surtout de gneiss et de micaschiste, peut se diviser en deux étages.

L'étage inférieur, le plus développé, consiste en gneiss granitoïde, glanduleux, rubanné, modifié par de nombreuses éruptions granitiques. Ce gneiss donne des rochers anguleux et déchiquetés dont les escarpements contribuent beaucoup à l'aspect pittoresque des côtes de la Bretagne, tandis que les granites prennent ordinairement des formes arrondies comme dans les Vosges et le Limousin.

L'étage supérieur est formé par des micaschistes et par un gneiss feuilleté à mica noir alternant avec des couches de pyroxénites et d'amphibolites. Le micaschiste est la roche prédominante ; il passe progressivement au gneiss d'une part en se chargeant de feldspath et parfois au quartzite d'autre part en perdant son mica. En quelques points, notamment aux Sables d'Olonne et près de Montoir, le gneiss renferme des lentilles de cipolin.

Au-dessus viennent des chloritoschistes, puis des taleschistes ou schistes luisants. Les premiers se montrent dans les falaises

de la baie d'Audierne ; les seconds dans la rade de Cherbourg, où ils consistent surtout en grains de quartz avec séricite rappelant le talc.

Il faut observer toutefois que certaines de ces roches, micaschistes, chloritoschistes et même gneiss, paraissent avoir une origine sédimentaire et n'être autre chose que des schistes cambriens métamorphisés. Tel est le cas pour les schistes cristallins de Ploaré et peut-être aussi pour ceux de Cherbourg. On retrouve donc ici la difficulté que nous avons déjà eu l'occasion d'indiquer et qui consiste à établir une ligne de séparation nette entre le terrain primitif et les terrains primaires.

604. Terrains de transition. — Les terrains de transition de la presqu'île armoricaine se partagent en trois grands bassins distincts :

1° Le bassin septentrional, ou bassin de la Manche, qui s'étend dans le Cotentin depuis Cherbourg jusqu'à la grande bande de granite qui traverse toute la Bretagne de Brest à Mayenne ;

2° Le bassin de Rennes, qui recouvre un vaste espace dans la partie centrale de la Bretagne et se prolonge jusqu'à la Loire ;

3° Le bassin du Finistère, moins étendu que les précédents, à la pointe occidentale de la presqu'île, entre la chaîne d'Arrée et les Montagnes Noires.

Ces bassins ne sont d'ailleurs pas isolés ; ils communiquent ensemble par des bandes étroites. On y trouve les trois systèmes cambrien, silurien et dévonien, que nous allons examiner successivement.

605. Système cambrien. — Le système cambrien se caractérise par la présence de couches nombreuses de conglomérats, qui témoignent des conditions troublées dans lesquelles se faisait la sédimentation. Comme dans l'Ardenne, les fossiles y sont très rares, d'une détermination délicate, et les assimilations sont douteuses. On peut y établir toutefois deux divisions assez nettes.

A la base, on observe dans le Cotentin des phyllades durs, noir bleuâtre, traversés par de petites veines de quartz et alternant avec des grauwackes. Ce sont les *phyllades de Saint-Lô* ; ils présentent quelquefois des perforations semblables à celles de Laifour.

Dans le bassin central, on trouve au même niveau les *schistes de Rennes*, où MM. Lebesconte et de Tromelin distinguent trois assises :

3. Schistes verts en grandes dalles.
2. Schistes roses.
1. Schistes gris verdâtre terreux.

Les schistes gris verdâtre terreux, de beaucoup les plus épais, sont composés de schistes et grauwackes, traversés souvent par des filons de quartz, de diorite et de porphyre ; ils renferment aussi des grès sombres, des poudingues et des calcaires siliceux ou magnésiens. Les schistes roses se composent de couches schisteuses de teintes variées, mais dans lesquelles le rose domine, avec des bancs de grès, de poudingues et de calcaires. Les schistes verts, de couleur gris verdâtre, présentent les mêmes intercalations ; à Néant (Morbihan), on y trouve des *Arenicolites* et des *Oldhamia*.

Les *phyllades verts de Douarnenez* équivalent également aux phyllades de Saint-Lô. Ce sont des schistes vert noirâtre, satinés, avec bancs de quartzite et nombreux filons de quartz. Le métamorphisme y a souvent développé des macles et des staurotides. Au sud des Montagnes Noires, ils fournissent des ardoises grossières.

La partie supérieure du cambrien porte le nom d'*étage des schistes rouges et poudingues pourprés*. Elle comprend des schistes peu fissiles, se divisant en dalles à surfaces bosselées, de couleur généralement rouge, amaranthe ou lie de vin, dans lesquels se trouvent ces tubes, désignés sous le nom de *tigillites* ou *scolithes* (fig. 258), que l'on attribue à des vers. Les poudingues, qui alternent à plusieurs reprises avec eux, sont surtout développés dans le Cotentin, où ils contiennent des galets de quartz laiteux, de lydienne noire et de granite.

Fig. 258. — Scolithes.

Ces conglomérats, qui ont généralement une pâte lie de vin sur laquelle ressortent les blancs noyaux de quartz, sont souvent employés dans les constructions du pays

Presque partout cet étage repose en stratification concordante sur les phyllades inférieurs. On n'a guère signalé de discordance que dans les environs de May (Calvados), où les schistes avec poudingues pourprés recouvrent les couches verticales des phyllades de Saint-Lô.

En raison de l'absence à peu près complète de fossiles, il est bien difficile de fixer la correspondance de ces couches avec celle des régions classiques. D'après leurs caractères pétrographiques, il semble que les phyllades de Saint-Lô et de Douarnenez et les schistes de Rennes doivent être classés dans l'étage ardennais, et les schistes rouges avec poudingues dans l'étage scandinavien.

606. Système silurien. — Le terrain silurien n'est pas facile à étudier, parce qu'il est affecté de nombreuses disloca-

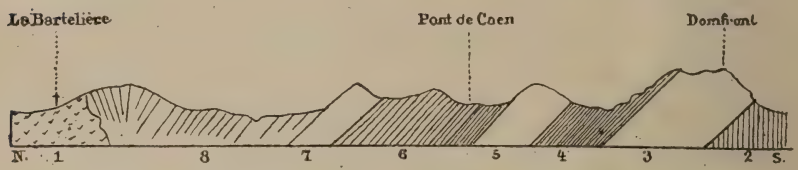


Fig. 259. — Coupe N. S. à travers le massif silurien de Domfront. — 1, Granite ; 2, Schistes cambriens ; 3, Grès armoricain ; 4, Schistes à calymènes ; 5, Grès de la Haute-Chapelle ; 6, Schistes et grès alternants ; 7, Grès culminant ; 8, Schistes à graptolithes.

tions qui troublent souvent l'ordre de succession des couches. L'une des meilleures coupes de ce terrain est celle qui a été relevée par M. Michel dans les environs de Domfront (fig. 259) ; on peut y distinguer quatre assises :

4. Schistes à graptolithes.
3. Grès de May et schistes subordonnés.
2. Schistes à calymènes.
1. Grès armoricain.

Les trois premières assises constituent l'étage armoricain ; les schistes à graptolithes correspondent à l'étage bohémien.

Le *grès armoricain*, ainsi nommé par Marie Rouault à cause du rôle considérable qu'il joue dans la constitution de l'Armorique, est un grès généralement aussi dur et compact qu'un quartzite, dont les bancs sont presque toujours séparés par un peu d'argile ou de petits lits schisteux. Il forme la chaîne montagneuse qui s'étend comme une muraille des environs de Domfront à Mortain et qui est coupée à pic par des gorges profondes d'un aspect des plus pittoresques.

Cette falaise est produite par une longue faille, à peu près rectiligne, qui relève le grès au sud en le faisant butter contre les schistes cambriens. C'est dans un de ses défilés que passe le chemin de fer de Domfront à Flers. A y voir la division des grès en colonnes, il semble au premier abord que la stratification en soit verticale ; mais on ne tarde pas à reconnaître que les bancs, très épais et très réguliers, plongent vers le nord d'une trentaine de degrés. C'est par suite d'un changement brusque de direction que le grès, en quelque sorte laminé, s'est divisé suivant des fentes verticales.

Le grès armoricain se montre aussi dans la chaîne du Cotentin et constitue à Cherbourg la montagne du Roule, où sont ouvertes des exploitations dont les produits ont servi à la construction du port de cette ville et sont employés à Paris sous le nom de *pavés de la Manche*.

Fig. 260. — *Cruziana rugosa*, du grès armoricain de Bretagne.

Fig. 261. — *Cruziana bagnolensis*, du grès armoricain de Normandie.

Cette montagne est très intéressante pour le géologue, parce qu'on y trouve des indices très nets de l'étirement qu'ont

subi les phyllades et les grès. Ces indices, signalés par M. Daubrée, consistent dans l'aplatissement des nodules de quartz dans le sens des feuillets et dans un allongement linéaire de beaucoup de géodes contenant du quartz, du feldspath et de la chlorite, qui ont pris des formes tubulées, de manière à rappeler les cellules étroites et parallèles de certains polypiers.

On trouve dans le grès armoricain des *bilobites* ou *pas de bœuf* (fig. 260 et 261), ces vestiges singuliers sur la signification desquels on n'est pas encore fixé (n° 542) et des *tigillites* analogues à ceux des schistes rouges cambriens, dont les tubes se montrent à la partie supérieure de la masse perpendiculairement à la stratification. MM. Lebesconte et de Tromelin ont signalé, également au sommet de l'assise, l'*Asaphus armoricanus,* le plus ancien des trilobites armoricains connus jusqu'à présent, et diverses espèces d'*Homalonotus.*

Les *schistes à calymènes* ont en général une couleur bleu foncé ou noire, plus rarement brune ou jaunâtre ; ils sont souvent un peu micacés et pyriteux. On y rencontre plusieurs espèces de trilobites, notamment *Calymene Tristani*, *C. Aragoi*, des *Dalmanites*, des *Asaphus*, des coquilles assez nombreuses, des encrines, etc. A Malestroit (Morbihan), ils sont remarquables par de nombreux trilobites de grande taille. Aux Salles de Rohan, dans le même département, ils sont maclifères et présentent en même temps des empreintes de fossiles ; ce qui met hors de doute le métamorphisme qu'ils ont subi.

C'est dans cette assise que sont intercalés les phyllades exploités comme ardoises sur une grande échelle près d'Angers. Aux environs de Vitré, il y a aussi des ardoises dans les mêmes schistes, mais à un niveau supérieur à celui de l'Anjou.

Tout à fait à la base des schistes à calymènes se trouve une couche de minerai de fer hydroxydé ou d'oligiste, dont l'épaisseur dépasse rarement 2 mètres et qu'on exploite dans l'arrondissement de Segré. A son contact, le grès armoricain présente des colorations d'un rouge vif qui contraste avec la teinte blanchâtre du reste de la masse.

L'assise du *grès de May* est schisteuse à sa base et surtout vers sa partie supérieure. Au centre, le grès est très dur, très quartzeux et atteint souvent une puissance d'au moins 1.000 mètres ; il présente des colorations rouges et grises tranchées. Il manque de fossiles entre Domfront et Mortain ; mais en d'autres points, notamment à May, on y trouve des trilobites, *Calymene Bayani, Dalmanites incertus*, *Trinucleus ornatus*, des orthocères, des *Orthis*, etc. Signalons encore un organisme problématiqne, le *Conularia pyramidata* (fig. 262) qui paraît être un ptéropode.

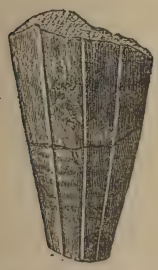


Fig. 262. — *Conularia pyramidata.*

La dernière assise silurienne se compose de schistes argileux violacés, s'altérant promptement à l'air et se divisant en petits fragments à surfaces très planes, qui sont parfois assez charbonneux pour passer à l'ampélite (n° 472). On y observe des graptolithes (fig. 263) et des moules d'orthocères. Un calcaire riche en fossiles s'y trouve par-

Fig. 263.[1] — Schiste ampéliteux couvert de graptolithes ; de Poligné (Ille-et-Vilaine).

1. M. Gaudry a bien voulu nous autoriser à reproduire cette figure extraite de son remarquable ouvrage : *Les Enchaînements du monde animal dans les temps géologiques.*

fois intercalé dans le haut, notamment à Feuquerolles (Calvados).

En Bretagne, au lieu d'ampélite, on trouve dans cette assise des *phtanites*[1], quartzites noirâtres, charbonneux, un peu rubannés, avec aspect jaspoïde.

607. Système dévonien. — Le dévonien est incomplètement représenté dans l'Armorique. Cette contrée était déjà à peu près constituée dans ses limites actuelles à la fin de la période silurienne, et la mer dévonienne n'a pénétré que dans quelques échancrures de ses rivages, pour y laisser surtout des dépôts appartenant à la partie inférieure du système.

Dans la Mayenne et l'Ile-et-Vilaine, le dévonien présente la composition suivante :

3. Schistes et grauwackes à *Pleurodyctium problematicum*.
2. Calcaire avec schistes.
1. Grès à *Orthis Monnieri*.

Les fossiles y sont nombreux et permettent de classer ces couches dans l'étage rhénan.

Dans le Finistère et notamment dans la rade de Brest on n'observe également que le rhénan. C'est dans cet étage qu'on exploite les ardoises de Châteaulin.

On ne trouve guère les trois étages du dévonien que dans la Basse-Loire où, d'après M. Bureau, l'étage rhénan est représenté par des schistes à *Pleurodyctium problematicum* avec trois masses calcaires exploitées à Liré, à Bouzillé et aux Brûlis, l'étage eifélien par un calcaire à stringocéphales et l'étage famennien par des schistes et un calcaire à rhynchonelles.

608. Granites. — Le granite le plus répandu dans le massif armoricain est le *granite commun*, à grain fin ou grain moyen. L'un des meilleurs types se trouve aux environs de Vire (Calvados), où il est souvent masqué par une arène de

1. De Φτανω, je préviens ; parce que les caractères de cette roche semblent annoncer son passage aux schistes,

quelques mètres d'épaisseur, qui provient de sa décomposition ; c'est un granite gris ou gris bleuâtre à mica noir, orthose et oligoclase, que l'on exploite pour la construction et pour dalles de trottoirs. On l'extrait aussi sur une grande échelle près de Fougères.

Le granite commun semble avoir fait éruption au milieu de la période cambrienne, après le dépôt des phyllades de Saint-Lô, car on en constate des galets dans les poudingues pourprés qui surmontent ces phyllades. Il forme d'énormes filons qui dessinent à la surface de larges bandes de plusieurs kilomètres de longueur et qui se ramifient dans les phyllades en empâtant de nombreux fragments de grauwacke. Sur les trottoirs de Paris, lorsque les nuances des surfaces polies sont avivées par la pluie, on distingue très nettement ces fragments noirâtres, à contours anguleux, tellement adhérents au granite que la solidité de la roche ne s'en trouve pas altérée.

Il est à remarquer que les bandes granitiques ne représentent pas toujours des masses protubérantes enveloppées à leur base par des schistes. En réalité les granites se trouvent indifféremment sur les sommets ou dans les dépressions, comme toute autre roche des terrains anciens.

Grâce au climat humide de l'Armorique, les sols granitiques sont remarquablement aptes à la sylviculture. Les sommités, complètement arides sur le Plateau Central, sont généralement boisées en Vendée et l'on admirait autrefois dans cette contrée de magnifiques forêts, maintenant défrichées en grande partie.

Le granite commun passe parfois au *granite porphyroïde* par le développement de grands cristaux d'orthose. C'est cette variété que l'on exploite dans de nombreuses carrières ouvertes sur la côte aux environs de Cherbourg ; on l'a employée notamment pour la construction des forts qui dominent cette ville et elle se distingue par sa teinte rosée et par la facilité avec laquelle elle s'égrène et se taille. Le beau granite de Laber (Finistère), remarquable par la teinte rouge chair de ses cristaux d'orthose, est aussi un granite porphyroïde.

Le granite porphyroïde traverse souvent les couches cambriennes, siluriennes et dévoniennes. Il est donc ainsi beaucoup plus récent que le granite commun.

La *syénite* lui est parfois associée et fournit dans le départment des Côtes-du-Nord des terres qui se distinguent par une assez grande fertilité, parce que la décomposition de l'amphibole y introduit une certaine quantité de chaux.

La *granulite* ou granite à mica blanc paraît être d'âge dévonien. On la constate à Alençon où elle renferme des prismes d'émeraude, près de Guéménée en Morbihan où elle constitue un massif important, au Mont Saint-Michel où elle est tourmalinifère, etc.

Ces diverses roches ont exercé sur les terrains dans lesquels elles sont enclavées de remarquables effets de métamorphisme qui s'étendent jusqu'à plusieurs centaines de mètres de la masse éruptive et qu'on peut attribuer à des émanations contemporaines de l'éruption. Les schistes sont devenus maclifères par la cristallisation de l'andalousite et de la staurotide, comme aux Salles de Rohan (n° 606), ou se sont transformés en schistes micacés ; ailleurs ils ont été simplement durcis par des matières siliceuses et injectés de nombreuses veinules de quartz. Les grès se sont changés en quartzites micacés parfois imprégnés de feldspath.

609. Autres roches éruptives. — Les *diorites* et surtout les *diabases* forment au milieu des schistes maclifères et des granites des filons d'une grande régularité, qui atteignent parfois plusieurs kilomètres de longueur.

Dans le Cotentin, le diabase a une couleur verte très foncée et ses filons, de 1 à 25 mètres d'épaisseur, sont jalonnés par de gros blocs arrondis provenant de la destruction des affleurements et qui doivent leur forme à la structure sphéroïdale de la roche. L'altération superficielle du diabase donne en certains points une arène calcarifère, appelée *marne*, dont on se sert pour l'amendement des terres argileuses.

Des *pétrosilex*, tantôt purs, tantôt mélangés de grains de quartz et passant alors au *porphyre quartzifère*, se rencontrent à Littry, près de Brest, dans les environs de Nantes, etc. Plusieurs de ces porphyres ont prolongé leurs éruptions jusqu'à la fin de l'époque anthracifère.

Il y a aussi quelques *amphibolites*, notamment au sommet du Menez-Bré près de Guingamp.

Signalons enfin la *kersantite*, roche spéciale à la Bretagne, postérieure au dévonien inférieur, dont on exploite activement des filons dans la rade de Brest.

610. Minerais métalliques. — L'Armorique et le Cornouailles, composés tous deux de roches schisteuses et granitiques, présentent de grandes ressemblances géologiques. Mais l'analogie disparaît sous le rapport de la richesse métallique, car les filons métallifères, si abondants dans la seconde de ces deux contrées, ne se poursuivent pas dans la première. On n'y connaît guère que quelques gîtes stannifères, à Pyriac et à la Villeder, et des filons plombo-argentifères à Poullaouen, Huelgoat et Pompéan.

Les gîtes de la Villeder présentent des caractères spéciaux qui paraissent de nature à éclaircir certains points de la théories des gisements d'étain. Ce sont des filons quartzeux encaissés dans le granite ou dans les schistes cambriens et renfermant, outre la cassitérite ou oxyde d'étain, du mica blanc, de l'émeraude, de la tourmaline, de l'apatite, de la pyrite de cuivre, etc. Mais il est à remarquer que la tourmaline, minéral fluoré, loin d'accompagner régulièrement la cassitérite comme l'admettent beaucoup de géologues, semble exercer sur elle une action répulsive, car dans les filons où l'un de ces deux minéraux domine, l'autre est peu abondant. Il semble donc, d'après M. Lodin, que là au moins on devrait renoncer à la théorie généralement admise et d'après laquelle le minerai d'étain serait venu au jour à la faveur du fluor ; il n'y a pas de distinction tranchée entre les gîtes stannifères et les autres gisements métalliques, et l'étain est arrivé de la profondeur, comme paraissent l'avoir fait tous les métaux, à la faveur d'émanations sulfureuses.

§ VII.

GISEMENTS ARDOISIERS

611. — Quoique l'ardoise ne soit pas l'apanage exclusif des terrains de transition, puisqu'il existe des roches fissiles à quelques autres niveaux géologiques, on peut dire qu'elle en est la caractéristique. C'est dans ces terrains qu'elle se présente de la manière la plus constante et qu'elle possède surtout les propriétés requises pour la couverture des édifices. Partout où il y a des terrains de transition en France, on trouve presque toujours des phyllades ardoisiers de plus ou moins belle qualité ; il en est de même en Angleterre, en Belgique, en Allemagne, aux États-Unis, etc.

Nous ne décrirons ici que les trois gîtes les plus importants, ceux de l'Ardenne française, de l'Anjou et du Pays de Galles.

1. *Gisements de l'Ardenne.*

612. Allure et constitution des couches. — Dans l'Ardenne française on exploite l'ardoise en deux points principaux : Fumay et Rimogne.

Les phyllades ardoisiers de Fumay appartiennent à l'assise inférieure de l'étage ardennais ; ils ont une coloration bleu violet ou rouge lie de vin caractéristique, et sont intercalés entre d'épais massifs de quartzites verts et blancs et de schistes gris verdâtre. On en exploite deux couches, dont la plus importante, celle de *Sainte-Anne*, a une épaisseur de 6 à 8 mètres et se subdivise en plusieurs veines séparées par de petits lits de quartzite verdâtre ou d'argile parallèles à la stratification.

Cette couche, comme d'ailleurs toutes celles de l'Ardenne, est inclinée à peu près vers le sud magnétique, ou, comme

disent les ouvriers, vers le *soleil d'onze heures*. Elle a ainsi une direction générale d'environ E. 20° N. — O. 20° S. Mais elle ne plonge pas toujours régulièrement, surtout dans le voisinage de la vallée de la Meuse, où elle est accidentée par des plis qui la traversent obliquement du N.-O. au S.-E. et la rejettent du sud au nord par bonds successifs.

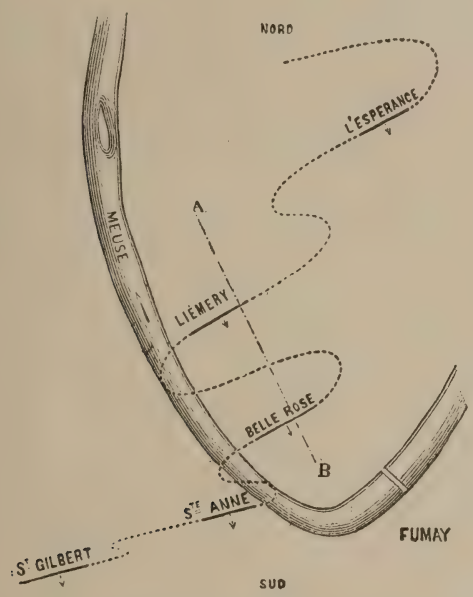


Fig. 264. — Coupe horizontale de la couche Sainte-Anne, à Fumay.

La figure 264, sur laquelle est indiqué l'emplacement des ardoisières ouvertes dans la couche de Sainte-Anne, met en évidence ces brusques inflexions qui affectent tout l'ensemble de l'assise. Les plissements ne sont pas moins accentués dans le sens vertical que dans le sens horizontal, comme le montre la coupe AB dirigée de l'ardoisière de Liémery à celle de Belle-Rose (fig. 265).

La seconde couche de Fumay, d'une épaisseur d'environ 18 mètres, est supérieure à la précédente ; elle en est séparée par une masse de quartzite, avec quelques schistes intercalés, qui a une puissance moyenne de 180 mètres. Elle la suit dans

ses inflexions et elle plonge généralement comme elle de 28° vers le sud magnétique.

A Rimogne, le phyllade ardoisier est gris bleu à grain très fin, ou gris verdâtre avec cristaux octaédriques de fer oxydulé alignés à peu près suivant la ligne de plus grande pente, qui plonge de 40 à 45°. Ces deux variétés se rencontrent souvent ensemble dans la même couche ; le phyllade grenu se trouve généralement alors au toit et au mur et le phyllade bleu au milieu.

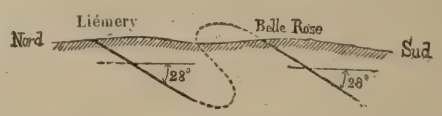


Fig. 265. — Coupe verticale suivant la ligne AB de la figure 264.

L'allure des couches de Rimogne est moins facile à étudier que celle des couches de Fumay. On a pu cependant constater dans les travaux souterrains que là encore les schistes ont été fortement plissés et qu'aux sommets des plis, où le phyllade ardoisier finit en biseau, les cristaux de fer oxydulé sont en général plus abondants qu'ailleurs. Cette dernière circonstance s'explique par le métamorphisme mécanique auquel a été soumis le terrain et qui, atteignant sa plus grande intensité dans les parties où les schistes ont été le plus fortement étirés, les a rendues particulièrement cristallines.

613. Accidents des couches. — En dehors des deux plans de clivage, le feuillet et le longrain, que nous avons déjà décrits (n° 177), le phyllade ardoisier présente des fentes naturelles, nommées *accidents* ou *avantages*, qui, quand elles ne sont pas très nombreuses, facilitent l'abatage de la roche. Lorsqu'au contraire elles sont trop rapprochées, elles découpent tellement le phyllade que celui-ci devient impropre à la fabrication de l'ardoise ; elles peuvent être aussi une source de danger, en amenant des chutes inopinées de blocs qui compromettent la sécurité des ouvriers.

Telles sont les *layes*, qui coupent la couche suivant un plan dirigé du S.-O. au N.-E., les *layerons,* qui vont de l'ouest à

l'est et sont perpendiculaires au plan de la couche, les *longraines*, dirigées à peu près suivant le longrain, les *couteaux*, petites failles inclinées de 45° environ sur la couche qu'elles n'ont fait glisser le plus souvent que de 30 à 50 centimètres, etc. Il y a en outre des parties où le schiste est comme brouillé ou fendillé dans tous les sens, telles que les *bugnes*, les *bièches* ; où il est injecté de filets quartzeux, comme les *nerfs* ; où le feuillet est irrégulièrement contourné, comme les *pélongrains* ; où la roche est presque entièrement désagrégée, comme les *pourris*, etc.

Ces divers accidents n'obéissent à aucune loi et le plus souvent on les rencontre dans les travaux sans qu'aucun indice les fasse prévoir. Aussi rien n'est plus aléatoire que l'industrie ardoisière, qui réserve bien des mécomptes aux exploitants.

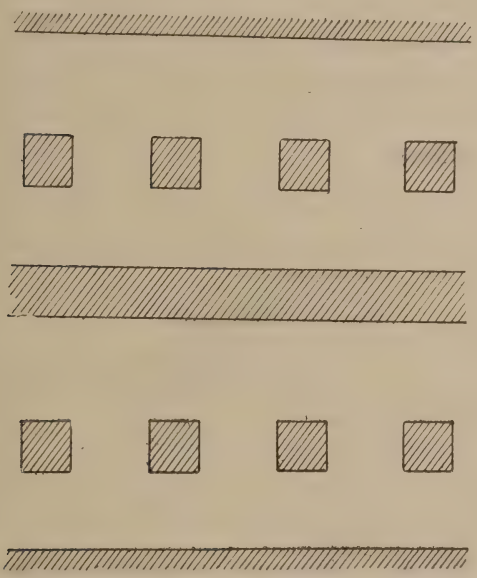


Fig. 266. — Plan des ouvrages d'une ardoisière souterraine à Fumay.

614. Procédé d'exploitation de Fumay. — On exploite l'ardoise à Fumay par une méthode originale que nous allons décrire en quelques mots.

Les couches étant assez inclinées et recouvertes d'une masse énorme de roches que l'on ne peut songer à enlever pour mettre a découvert la matière utile, il en résulte que l'exploitation se fait nécessairement par travaux souterrains. On attaque le gisement par une galerie inclinée à peu près suivant la ligne de plus grande pente ou suivant le longrain, et à laquelle on donne une largeur suffisante pour qu'elle puisse servir à l'extraction des produits, à l'épuisement, à l'aérage et à la descente des ouvriers.

On admet généralement que jusqu'à une profondeur d'une trentaine de mètres, le phyllade est trop altéré par les agents atmosphériques pour être propre à la fabrication de l'ardoise. Aussi on ne commence à exploiter qu'au-dessous de cette profondeur, et de chaque côté de la galerie on dispose des chantiers ou ouvrages dans lesquels on abat la roche.

Ces chantiers (fig. 266) ont une longueur d'environ 27 à 28 mètres suivant l'inclinaison et ils sont séparés par des piliers en direction, ou *nayes*, de 6 mètres d'épaisseur, perpendiculaires au plan de la couche. On ménage en outre, à distance égale des nayes, des piliers carrés de 6 mètres de côté, espacés d'environ 9 mètres.

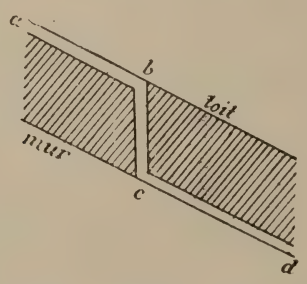


Fig. 267. — Exécution d'un forage.

Pour installer un ouvrage, on commence par faire au toit de la couche une galerie *ab* (fig. 267) d'une longueur égale à l'épaisseur que doit avoir la naye séparative, c'est-à-dire de 6 mètres, en suivant le longrain; puis on pratique une foncée verticale *bc* jusqu'au mur, qui est formé par un quartzite recouvert d'un enduit gras et auquel les ouvriers donnent, à

cause de cette circonstance, le nom de *gras-lit*. A l'aide d'un forage *cd*, de 12 mètres environ de longueur, on suit le mur et on arrive au point de l'ouvrage où doivent être ménagés les piliers intermédiaires. On procède ensuite au *crabotage*.

Cette opération consiste à enlever toute la partie inférieure de la couche contre le gras-lit sur une épaisseur de $0^{m}90$. On la commence au point le plus bas de la galerie *cd* et on la poursuit en remontant, le long de cette galerie et sur une largeur de 15 mètres, en se servant de la poudre. On a soin toutefois de laisser aux quatre angles de l'ouvrage de petits piliers d'un mètre de côté ou *boutices*, destinés à soutenir le massif.

Lorsque le crabotage est exécuté sur une certaine étendue, on observe un singulier effet de pression dans la partie du schiste suspendue au-dessus du vide. On voit se former à sa surface inférieure de larges esquilles, appelées *chébiures*, que les ouvriers font tomber au fur et à mesure de l'avancement du travail; il semble, suivant la remarque de Sauvage, que dès que la matière n'est plus soutenue, elle obéisse à son élasticité et se détende pour ainsi dire. On ne remédie qu'imparfaitement à cette cause de perte d'ardoise en étançonnant le massif sous lequel on a craboté.

Le crabotage terminé, on procède à l'abatage. On coupe le schiste au pic sur les deux côtés inclinés de l'ouvrage jusqu'au lit qui sépare la première veine de celle qui lui est superposée ; puis on fait un coupage semblable contre les piliers qu'on doit conserver et contre la naye supérieure. On a ainsi un bloc qui n'est plus soutenu que par les boutices et il suffit d'enlever celles-ci pour qu'il se détache du toit et tombe sur le mur de la carrière. Quelquefois cependant, on est obligé de donner dans le toit quelques coups de mine dirigés suivant le feuillet ou la stratification pour hâter la chute.

On continue ensuite le forage sur une longueur de 15 à 16 mètres jusqu'au point où l'on veut réserver une nouvelle naye, et l'on opère pour cette seconde partie de l'ouvrage comme pour la première, quant aux travaux de crabotage et de coupage, en ménageant toutefois un pilier de 6 mètres qui se trouve isolé sur le milieu de la longueur de l'ouvrage. Puis on prend une troisième partie à côté de la première et ainsi de

suite. Parfois, quand le toit est très bon, on fait tomber des blocs ayant toute la longueur de l'ouvrage, c'est-à-dire 27 à 28 mètres.

Pendant que l'on crabote dans la seconde partie du chantier, on travaille au débitage du bloc tombé dans la première. On le divise d'abord, à la poudre et suivant le longrain, en tables parallèles de 0^m40 à 0^m60 de largeur ; ces tables sont ensuite refendues suivant le feuillet, avec des coins de fer sur lesquels on donne des coups de masse, en plaques de 0^m10 d'épaisseur. Ces plaques sont à leur tour subdivisées de la manière suivante : on fait à la scie ou au ciseau une entaille en forme de V (fig. 268), et en frappant à faux à l'aide d'un maillet sur la tranche de la plaque on en détermine la fente suivant une ligne *ab* qui s'écarte d'autant plus de la direction du longrain que le coup est plus fort. Enfin on refend chacun des fragments ainsi obtenus en lames de 0^m05 d'épaisseur qui représentent à peu près la charge d'un homme et qu'on appelle des *sportons*. Ce sont ces sportons qu'on amène au jour par la galerie d'extraction et qu'on livre aux *fendeurs* pour être transformés en ardoises.

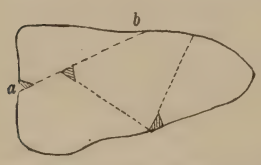


Fig. 268. — Division d'une plaque de schiste ardoisier.

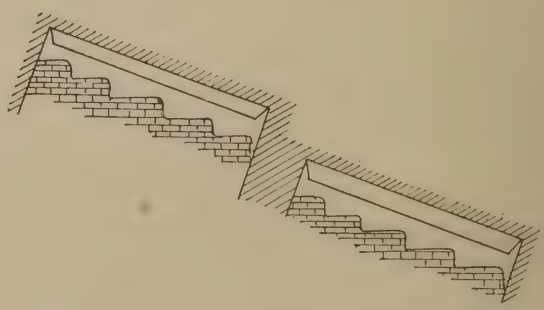


Fig. 269. — Coupe d'un chantier d'ardoisière à Fumay.

Lorsque la première veine est exploitée, on fait tomber successivement les veines supérieures par le même procédé, avec cette différence qu'il n'y a plus de crabotage à faire et qu'on s'établit sur les débris de l'exploitation précédente, en sorte

qu'un chantier en pleine marche présente en coupe l'aspect représenté par la figure 269.

Cette méthode d'exploitation est très bien conçue ; c'est celle qui donne la meilleure utilisation du schiste ardoisier et elle est loin d'être aussi dangereuse qu'elle peut le paraître au premier abord. Comme le toit d'un ouvrage n'est jamais qu'à une faible hauteur, on a toute facilité en effet pour le surveiller et suivre les progrès de l'arrachement des blocs, dont la chute est d'ailleurs précédée de craquements précurseurs. Les ouvriers emploient souvent un moyen très simple pour se rendre compte de l'élargissement progressif de la fissure qui se forme au plan de séparation. Ils appliquent contre cette fissure une goutte de suif et observent de temps en temps comment elle se comporte ; quand le suif blanchit, c'est un signe que la fissure s'agrandit ; lorsqu'il se rompt, la chute est imminente.

Il est bien entendu que la disposition des nayes et des piliers n'est pas toujours aussi régulière que nous l'avons dit. Si l'on rencontre des parties où la couche est inexploitable, on les laisse en massifs et l'on modifie le plan des travaux en conséquence. D'autre part, la présence d'avantages convenablement placés peut amener à augmenter ou à diminuer les dimensions d'un ouvrage, en dispensant en même temps de l'exécution de coupages toujours onéreux.

615. Méthode d'exploitation de Rimogne. — Dans les ardoisières de Rimogne, on pratique quelquefois le crabotage au toit et on enlève le schiste sous ses pieds en s'abaissant successivement jusqu'au mur. C'est la *méthode par abaissement*, tandis que la précédente est la *méthode par rehaussement*.

La figure 270 représente un modèle d'ouvrage exécuté de cette manière. La pierre est détachée par prismes rectangulaires, ou *longueresses*, placés en échelons, ayant une largeur de $3^{m}50$ environ suivant la pente et une longueur de 12 à 15 mètres suivant la direction. La première longueresse, celle qui touche le front de l'ouvrage contre le pilier, étant plus difficile à soulever que les autres, on ne lui donne que 2 mètres de largeur.

Pour obtenir ces longueresses, on commence par les cerner sur les faces de champ par des entailles triangulaires de 0^m20 à 0^m50 de profondeur, s'il n'y a pas d'*avantages ;* après quoi, on les soulève avec une série de coins chassés de haut en bas et à coups de masse suivant la stratification. On sépare ainsi à la fois les quatre longueresses de l'ouvrage. Toutefois, pour l'enlèvement de la première, il faut creuser dans l'entaille pratiquée contre le pilier de petites cavités destinées à recevoir les coins.

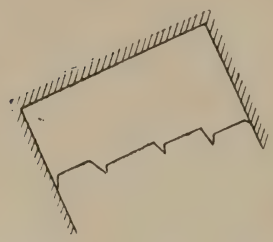


Fig. 270. — Coupe d'un chantier à Rimogne.

616. Fabrication des ardoises. — Le travail du phyllade au jour comprend quatre opérations.

Les morceaux livrés aux fendeurs ont une longueur de $1^m,50$ à 2 mètres, une largeur de $0^m,30$ à $0^m,60$ et une épaisseur de 3 à 5 centimètres. La première opération, dite *quernage*, a pour but de casser chacun de ces morceaux en deux ou trois fragments. On opère à peu près de la même manière que pour le débitage des plaques dans la carrière, en faisant une entaille en forme de V et donnant sur la tranche un coup de maillet plus ou moins fort, suivant la direction que l'on veut donner à la càssure par rapport au longrain.

La seconde opération, ou *amoïnage*, consiste à fendre les fragments précédents en lames de $0^m,011$ d'épaisseur avec un long ciseau que l'on fait passer entre les feuillets du schiste.

Dans une troisième opération, qui constitue la *fente* proprement dite, on refend chaque lame en feuillets minces, en la divisant en deux parties et chacune de ces parties en deux autres. On obtient ainsi des feuillets de $0^m,0027$ d'épaisseur. On se sert pour cela d'un ciseau analogue à celui de la deuxième opération, mais plus mince. On pourrait descendre beaucoup au-dessous de cette épaisseur, tellement le schiste est fissile, mais les feuilles qu'on obtiendrait n'auraient aucune résistance.

Il ne reste plus qu'à *tailler* l'ardoise ; c'est le but de la dernière opération. On casse le feuillet en deux, trois ou quatre morceaux, suivant sa grandeur et suivant l'échantillon qu'on veut obtenir, en frappant à petits coups avec un couperet sur ces feuillets placés sur l'angle d'un morceau de bois de forme parallélépipédique. On fait une ardoise avec chacun de ces morceaux auxquels on donne la forme voulue à l'aide du même couperet.

Au lieu de tailler les ardoises à la main, on se sert depuis plusieurs années d'une machine fort simple qui se compose de couteaux verticaux disposés suivant la forme de l'échantillon. Le feuillet est placé au-dessous de ces couteaux et, par un mouvement donné avec le pied ou avec la main, on coupe l'ardoise d'un seul coup et comme avec un emporte-pièce.

On distingue un grand nombre d'échantillons d'ardoises ; voici quels sont les principaux :

La *Saint-Louis*	0,30	de longueur sur	0,19	de largeur.
La *Flamande*	0,27	—	0,17	—
La *Démêlée*.	0,30	—	0,17	—
La *Commune*.	0,28	—	0,14	—

On fait aussi, surtout pour l'Allemagne et l'Angleterre, des modèles de plus grandes dimensions, dont l'épaisseur est alors supérieure à celle que nous avons donnée ci-dessus et qui ne s'applique qu'aux types ordinaires.

Le schiste qui n'est pas assez fissile pour servir à la fabrication de l'ardoise est souvent transformé en dalles de toutes dimensions, sciées, rabotées ou ouvrées.

L'exploitation de l'ardoise dans le département des Ardennes remonte certainement à une époque reculée. Dans une charte de l'an 1222, il est question des ardoisières ou *escaillères* de Fumay, comme étant déjà de très ancienne date, et de la redevance qu'elles doivent payer au seigneur haut justicier. On connaît également des titres de la même époque qui se rapportent à Rimogne.

La production annuelle est d'environ 175 millions de pièces représentant une valeur de 3.500.000 fr. Avec toutes ces ardoises, on pourrait couvrir une surface de 350 hectares. Le nombre des ouvriers occupés est de 2.200.

2. *Gisements de l'Anjou.*

617. Allure et constitution des couches. — Nous avons indiqué plus haut la position géologique des phyllades exploités dans l'Anjou. Ils appartiennent au terrain silurien et font partie de l'assise des schistes à calymènes intercalés entre le grès armoricain et le grès de May ; ils sont ainsi plus récents que les phyllades ardennais.

La bande schisteuse fouillée par les exploitations ou reconnue par des coupements perpendiculaires a, d'après M. Blavier, une largeur de 800 mètres et son orientation générale est O. 20° N.-E. 20° S. Elle présente quatre couches distinctes de phyllade ardoisier, dont deux seulement, placées au nord, à la distance de 350 mètres l'une de l'autre, sont bien connues et désignées sous les noms de *veine du nord* et *veine du sud*. Toutes les carrières qui y sont ouvertes sont concentrées sur une longueur maxima de 5 kilomètres dans les communes de Trélazé et de Saint-Barthélemy, tout près de la ville d'Angers.

Ces deux veines principales se distinguent par des caractères très tranchés. La veine du nord, ou *veine des Petits-Carreaux*, a pour limite au nord une couche de schiste ampéliteux noirâtre appelée *charbonnée* par les ouvriers. Au sud, sa limite est moins nette, car il n'y a pas de modification radicale dans la nature de la roche, qui est toujours un schiste fissile prenant seulement une teinte d'un bleu plus foncé et se chargeant d'une plus forte proportion de cristaux cubiques de pyrite de fer qui interrompent la fente et occasionnent un plus grand déchet dans la fabrication ; il n'y a donc là qu'une limite industrielle qu'on pourra reculer quand les parties riches s'épuiseront.

La veine du sud, ou *des Grands-Carreaux*, est intercalée également au milieu des schistes. Au nord, ces schistes sont à peine fissiles et non pyriteux ; au sud, ils renferment en abondance des pyrites de fer en lames plus ou moins épaisses, rapprochées les unes des autres, qui portent le nom de *foriaces*.

Dans l'une et l'autre veine, le plongement est de 75 à 80 degrés vers le sud. Le plan de fissilité est à peu près vertical et fait un angle de plusieurs degrés avec la direction générale du gisement. Quant au longrain, il est beaucoup moins accentué que dans les phyllades de l'Ardenne.

La régularité des couches est souvent troublée par des accidents de diverses sortes. Tels sont les *torsins*, parties dans lesquelles sont enchâssées des amandes quartzeuses et où le schiste est comme tordu, sur une épaisseur qui peut atteindre une vingtaine de mètres ; les *chefs*, plans de séparation à peu près verticaux, presque perpendiculaires à la direction des veines, fréquemment quartzeux et produisant des rejets ou des variations dans le plan de fissilité ; les *chauves*, autres plans de séparation quelquefois très multipliés, sans continuité, qui séparent la roche en sortes de lentilles très aplaties non adhérentes les unes aux autres ; les *cordes de chat*, cordons ou filons parallèles de quartz blanc, dirigés suivant la fissilité, parfois très réguliers et s'étendant sur des longueurs de 5 à 6 kilomètres, dont la formation doit être à peu près contemporaine de celle du schiste, puisque ces filons sont rejetés, en même temps que les veines elles-mêmes, par les chefs et les torsins.

Le phyllade ardoisier n'affleure généralement pas, et partout où existent des pointements schisteux on peut affirmer qu'ils appartiennent à des roches non fissiles. On appelle *cosse* la partie supérieure des veines qui, sous l'influence des agents atmosphériques, s'est décomposée en perdant toute consistance et en prenant une teinte rouille au lieu de sa coloration bleue. L'existence des cosses, dont l'épaisseur atteint 15 à 18 mètres, a dû être un obstacle à la connaissance exacte du véritable gisement ardoisier et il est probable, ainsi que le fait remarquer M. Blavier, que c'est ce qui explique comment les Romains, qui recherchaient avec tant de soin les matériaux de construction de bonne qualité, n'ont pas exploité l'ardoise de l'Anjou. L'ancienneté des carrières des environs d'Angers n'est établie d'une manière authentique que par des documents remontant au XIIe siècle.

618. Exploitation à ciel ouvert. — On exploite le schiste ardoisier de l'Anjou à ciel ouvert ou par travaux souterrains. Nous emprunterons encore à M. Blavier la description des méthodes adoptées.

Dans les carrières à ciel ouvert, la première opération à entreprendre est la *découverture*, qui consiste à enlever la cosse sur toute son épaisseur. En même temps, on prépare sur le côté ouest de la fouille un remblai de 7 à 8 mètres de hauteur appuyé contre un mur ; c'est sur ce remblai que doivent être installées les machines à vapeur servant à l'extraction et à l'épuisement.

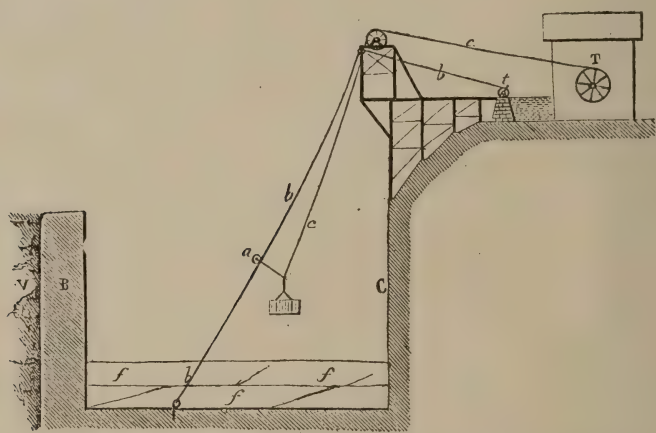


Fig. 271. — Ardoisière à ciel ouvert. — *bbb*. Billon de conduite. — *cc*. Câble d'extraction. — *a*. Poulie à gorge ou cayorne. — T. Tambour. — *t*. Treuil pour serrer le billon. — C. Chef de règle. — *f.f*. Foncées en exploitation. — B. Bardeau séparant la carrière du vieux fonds abandonné V.

Lorsqu'on est arrivé à la roche solide, on établit sur des gradins (fig. 271) une charpente formée de pans de bois entretoisés et recouverts d'un plancher, dont l'extrémité se trouve à peu près à l'aplomb de la paroi verticale qui doit limiter la carrière à l'ouest et qu'on appelle *chef de règle de l'ouest*. La carrière est également limitée à l'est par un autre chef de règle, distant de 60 à 70 mètres du premier.

Une fois la découverture achevée, on procède à l'abatage du schiste. On exécute d'abord un fonçage, c'est-à-dire une

sorte de rigole de 10 pieds ou $3^m,30$ de profondeur qui s'étend d'un chef à l'autre, en se servant de la poudre et du pic. Pour faciliter cette opération, on choisit généralement un de ces plans naturels de séparation à peu près parallèles au fil de la pierre, tels que les chauves. Le banc ainsi dégagé sur une face verticale par le fonçage est une *foncée*, et l'on compte la profondeur d'une carrière par le nombre de foncées qu'on y a exploitées.

On dégage ensuite le banc du côté de chaque chef en faisant au pic une tranchée verticale de profondeur variable sur toute la hauteur de ce banc ; puis à l'aide de mines horizontales, dites *mines à lever*, faites à son pied, perpendiculairement au plan de fissilité, on cherche à produire un plan de séparation horizontal ; après quoi on fait, suivant la fissilité, des mines verticales ou *mines debout* de $3^m,30$ de profondeur, afin de produire une première ouverture entre la masse à abattre et le reste de la foncée.

C'est dans la fente ainsi produite à la poudre que les ouvriers placent de longs coins en fer, ou *quilles*, sur lesquels ils frappent en cadence avec un lourd marteau. L'opération est quelquefois d'une grande durée : des blocs d'un mètre d'épaisseur, 7 à 8 mètres de longueur et $3^m,30$ de hauteur, peuvent n'être complètement séparés du banc qu'après un travail de 15 à 20 hommes pendant plusieurs heures.

On renverse le bloc au moyen de leviers en fer et il n'y a plus qu'à le débiter en morceaux, en utilisant ses délits naturels.

Quand un bloc a été détaché de la foncée, malgré l'exécution préalable des mines à lever, la séparation n'est jamais nette. Sous l'influence des coins qui agissent en tête du bloc, la cassure se fait irrégulièrement au pied, et l'espèce de talon qui reste empêcherait l'abatage de la pièce suivante si on ne l'enlevait. Ce travail, qui doit se faire au pic, est long et complètement improductif.

On prépare ainsi des foncées successives qui se présentent les unes au-dessus des autres comme des gradins. La profondeur d'une ardoisière est généralement limitée à un maximum de 35 à 40 foncées, soit 120 à 135 mètres, bien qu'à cette pro-

fondeur l'ardoise soit de meilleure qualité que dans la partie supérieure ; mais au-delà l'exploitation devient dangereuse. Un ouvrier, suspendu au bout d'un câble dont plusieurs de ses camarades règlent la marche, est d'ailleurs chargé de visiter fréquemment les parois de l'excavation, afin de vérifier si aucune partie de la roche ne tend à se détacher et de faire tomber tout ce qui se trouve ébranlé.

L'enlèvement des matières utiles, abattues comme il vient d'être dit, et des débris souvent considérables qui proviennent du travail de l'ouvrier ou des délits naturels du schiste, s'opère au moyen d'un système particulier dit *système des billons de conduite*. La caisse d'extraction, ou *bassicot*, est suspendue ou câble *cc*, qui s'enroule sur le tambour T mis en mouvement par une machine à vapeur. Un second câble *bbb*, dont une extrémité s'attache à un anneau en fer fixé dans la roche au fond de l'ardoisière, vient aboutir à la partie supérieure de cette carrière. Sur ce câble, qui est destiné à servir de billon de conduite, roule une poulie à gorge *a*, reliée au câble d'extraction par une petite chaîne. Le billon est d'ailleurs prolongé au-delà de son point d'attache supérieur et s'enroule sur un treuil horizontal *t* qui permet de lui donner des longueurs différentes suivant la position de l'anneau auquel son extrémité inférieure doit être fixée.

On voit qu'avec ce système on peut opérer l'enlèvement des matières sur les points mêmes que l'on veut déblayer, en faisant varier la position de l'anneau.

619. Exploitation souterraine. — Les exploitations souterraines, ouvertes pour la première fois en 1830, sont destinées à atteindre le gîte ardoisier dont l'affleurement a été dépouillé à ciel ouvert et recouvert par des débris. La méthode suivie ne diffère pas de celle que nous venons de décrire en ce qui concerne l'abatage.

Quand on est arrivé à la profondeur convenable au moyen d'un puits vertical à grande section, on pousse dans le sens du fil de pierre une galerie horizontale de $1^{m},50$ de largeur sur 2 mètres de hauteur (fig. 272), à la poudre et au pic, jusqu'aux limites qu'on s'est fixé pour les dimensions de la

chambre d'exploitation, dont la longueur varie de 35 à 40 mètres.

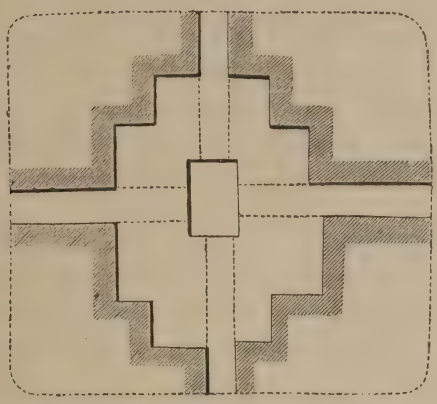


Fig. 272. — Exploitation souterraine. — Confection de la voûte.

On fait en même temps et au même niveau une galerie perpendiculaire à celle-ci. C'est en partant de cette seconde ouverture que l'on entreprend l'exécution de la voûte, d'abord avec quatre chantiers d'abatage, puis avec un nombre double quand les premiers se sont suffisamment éloignés en marchant dans le sens du fil de pierre. On se sert de la poudre, excepté à l'approche de la voûte, où le schiste est coupé avec le pic ou avec une grande barre appuyée sur une poulie et manœuvrée par deux ou trois ouvriers, afin d'éviter tout ébranlement dans cette partie importante de la carrière.

Lorsque la voûte est terminée, on fait la foncée comme dans une carrière à ciel ouvert. Ainsi on taille les deux chefs normalement à la direction de la veine et on laisse les deux autres parois non taillées, toutefois avec des relais en général moins importants, parce que la voûte leur sert efficacement de soutien et que la tendance au renversement est notablement moindre.

Le mode d'élévation des matières est encore le même que celui qui a été décrit plus haut. Seulement, il est évident que par le fait de l'existence d'un puits vertical précédant la voûte, l'emploi des billons de conduite ne devient efficace que quand on a atteint un certain nombre de foncées ; jusque-là, on se

sert de petits chemins de fer pour amener presque à l'aplomb du puits toutes les matières.

En somme, les carrières souterraines d'Angers sont des carrières ordinaires sous voûtes. Elles exigent une surveillance incessante, car les parois des chambres, à découvert sur de grandes étendues, tendent à se fatiguer et elles donnent toujours lieu à des éboulements plus ou moins considérables, qui ont parfois des conséquences désastreuses pour les ouvriers.

Cette méthode d'exploitation est donc beaucoup moins satisfaisante, sous le rapport de la sécurité, que celle de Fumay. Il est permis de penser avec M. Ichon qu'il en est de même au point de vue du prix de revient et qu'il y aurait intérêt à attaquer le gîte à une grande profondeur pour l'exploiter de bas en haut, par gradins renversés, en s'élevant sur les remblais. Une tentative dans cette voie est faite actuellement par la société ardoisière des Grands-Carreaux.

620. Fabrication de l'ardoise. — La fabrication de l'ardoise se fait à peu près de la même manière que dans les Ardennes ; toutefois elle est plus facile, parce que le longrain est moins prononcé et qu'on peut couper assez aisément le schiste perpendiculairement à la direction de ce plan de clivage.

L'exploitation et la fabrication occupent plus de 2.500 ouvriers. La production annuelle est d'environ 200 millions de pièces représentant une valeur de 4.500.000 fr.

On se sert en outre du phyllade pour la confection de tables, tablettes, carreaux, objets sculptés ou tournés, etc.

3. *Gisements du Pays de Galles.*

621. Position stratigraphique des phyllades du Pays de Galles. — Le Pays de Galles est beaucoup mieux partagé encore que l'Ardenne et l'Anjou sous le rapport de la richesse des gisements ardoisiers. Les schistes fissiles se trouvent à plusieurs niveaux et avec de grandes épaisseurs dans les terrains cambrien et silurien, si développés dans cette ré-

gion. Pour préciser leur position stratigraphique, il est nécessaire que nous examinions rapidement la composition des terrains qui les contiennent.

Terrain cambrien. — Le système cambrien se divise en quatre assises :

4. Assise de Trémadoc.	Étage scandinavien.
3. Lingula flags.	
2. Grès de Harlech.	
1. Schistes de Llanberis.	Étage ardennais.

1. Les *schistes de Llanberis et de Penrhyn*, qui correspondent à l'étage ardennais, ne renferment guère d'autres fossiles que des vers et des *Oldhamia ;* aussi, en raison de la prédominance des annélides, les géologues anglais les désignent souvent sous le nom d'*étage annélidien.* Leur puissance dans le Caernarvonshire est d'au moins 900 mètres, sur lesquels il y a 280 mètres environ de schistes fissiles, de couleur pourprée ou verdâtre, qui donnent des ardoises dures, à son métallique prononcé.

2. L'assise des *grès de Harlech*, qu'on place à la base de l'étage scandinavien, peut être considérée comme une zone de passage entre les deux étages. Elle consiste en grès jaunâtres, gris ou rouges, avec couches schisteuses, et renferme des lingules, des paradoxides et autres trilobites. Son épaisseur est d'environ 500 mètres.

3. Les *lingula flags*, ou *dalles à lingules*, sont ainsi nommés parce que les lingules y abondent. Ils ont une puissance de 800 à 1.500 mètres et consistent en schistes noirâtres, puis bleuâtres, avec quelques bancs de grès. A la partie inférieure ils présentent encore des paradoxides, auxquels succèdent des *Olenus.* On sépare quelquefois cette partie inférieure pour la réunir au grès de Harlech sous le nom d'*étage paradoxidien*, tandis que le reste de l'assise forme l'*étage olénidien* avec l'assise de Trémadoc qui renferme aussi des *Olenus.* Ces schistes ne sont pas très fissiles et on ne peut en faire que des dalles plus ou moins épaisses.

4. L'*assise de Trémadoc* se compose de schistes terreux, de couleur noirâtre, qu'on rencontre près de la petite ville de Tré-

madoc dans le Caernarvonshire. A la base on trouve le *Dictyonema sociale;* à la partie supérieure il y a d'assez nombreux fossiles qui en font la zone la plus fossilifère du cambrien, et notamment des acéphales, des encrines, ainsi que de nouveaux trilobites qui se rapprochent des genres siluriens. Les ardoises que l'on fabrique avec ces schistes ont un grain grossier et sont chargées de pyrites ; néanmoins elles sont marchandes.

Terrain silurien. — Le silurien, qui a été étudié surtout dans le Shropshire, comprend six assises :

6. Assise de Ludlow.	Etage bohémien.
5. Assise de Wenlock.	
4. Assise de Llandovery.	
3. Assise de Caradoc.	Etage armoricain.
2. Assise de Llandeilo.	
1. Assise d'Arenig.	

1. Les *schistes d'Arenig*, puissants d'environ 300 mètres, peuvent être considérés comme constituant une assise de passage entre le cambrien et le silurien ; car ils offrent un mélange de trilobites primordiaux avec ceux qui, d'habitude, caractérisent la faune seconde. Ce sont des schistes très riches en graptolithes, de coloration noirâtre ou gris foncé, alternant avec des couches de grès et devenus maclifères ou micacés au voisinage des granites qui les traversent. Ils sont fissiles en plusieurs points ; mais on ne les exploite pour ardoises que sur une échelle très restreinte.

2. L'*assise de Llandeilo*, de même que celle de Caradoc, qui lui est superposée, présente les fossiles caractéristiques de la faune seconde. C'est un puissant massif de schistes noirs et argileux traversé par des filons, intercalés dans la stratification, de roches éruptives dites *greenstone*[1], qui en quelques endroits se lient par des passages insensibles aux quartzites ordinaires. L'un des plus beaux gisements ardoisiers du Pays de Galles se trouve localisé entre deux zones de greenstone et à leur contact le schiste fissile est injecté d'innombrables veines de la même roche, de quartz, de calcite et de pyrite. Les ar-

1. Roches vertes ayant à peu près la même composition que les diabases du Cotentin.

doises qu'on en extrait ont une couleur bleu clair; elles ont un grain fin et sont presque complètement exemptes de pyrites. La partie exploitable peut atteindre 50 mètres de puissance.

3. L'*assise de Caradoc* comprend à sa base un calcaire dit *calcaire de Bala*, auquel est superposé un grès à *Calymene incerta* et à trinucles.

4. L'*assise de Llandovery* est encore une zone de passage, qui présente un mélange de formes appartenant à la faune seconde et à la faune troisième. Elle débute par des schistes auxquels succède un calcaire à pentamères ou un grès à trilobites et se termine par les schistes blanchâtres de Tarannon qui peuvent donner des ardoises, mais de qualité très inférieure.

5. L'*assise de Wenlock* se compose de schistes intercalés entre des couches de calcaire. Le calcaire supérieur, bien connu des collectionneurs sous le nom de *calcaire de Dudley*, est un calcaire subcristallin, rempli de polypiers et de crinoïdes. Les schistes, dont l'épaisseur totale atteint plus de 600 mètres, sont gris ou noirs, à grain fin, souvent très fissiles et exploités alors comme ardoises.

6. L'*assise de Ludlow*, qui termine la série silurienne, consiste en schistes gris argileux contenant entre autres fossiles le *Pteraspis*, le plus ancien poisson connu, puis en un calcaire assez semblable à celui de Dudley, et enfin en un grès micacé, de couleur généralement rouge, qu'on confondait autrefois avec le *vieux grès rouge* du terrain dévonien.

622. Exploitation à ciel ouvert. — Les carrières à ciel ouvert de Penrhyn et de Llanberis, distantes l'une de l'autre de quelques kilomètres seulement, dans le Caernarvonshire, sont les plus importantes du monde, car elles produisent autant que les Ardennes et l'Anjou réunis et occupent près de 6.000 ouvriers. Les couches qu'on y exploite appartiennent à l'assise inférieure du système cambrien et sont à peu près au même niveau géologique que celles de Fumay.

La première, qui est la plus ancienne, remonte au temps de la reine Élisabeth. Le plan de fissilité y est presque vertical et

les couches plongent sous une inclinaison de 45 à 50 degrés dans le flanc de la montagne, haute en cet endroit de près de 400 mètres. Son aspect général rappelle celui d'un immense cirque elliptique, dont les axes ont 600 et 200 mètres et dont les gradins, au nombre de 16, ont une hauteur de 14 à 15 mètres et une largeur moyenne de 20 mètres. Le gradin inférieur est ainsi au niveau du fond de la vallée ; le plus élevé est à la limite de la couche exploitable. Des plans inclinés automoteurs descendent les wagons pleins d'ardoises fabriquées des différents étages et remontent les wagons vides ; les premiers sont ensuites formés en trains et remorqués par locomotives.

L'abatage se fait entièrement à la poudre. L'ouvrier au rocher, ou *rockman*, attaché à une corde, descend sur les anfractuosités qui se présentent sur la hauteur et fore des trous de mine, en les disposant de manière à tirer le meilleur parti possible des délits naturels du schiste ; puis les blocs abattus sont divisés à peu près suivant le même procédé que dans les Ardennes, en utilisant la fissilité et le longrain qui est très accentué et auquel on donne le nom de *pillaring*.

Il est facile de comprendre qu'une pareille méthode d'exploitation présente de graves inconvénients. Avec des gradins aussi élevés et l'emploi excessif de la poudre, les accidents sont nombreux et le déchet considérable.

A Nantle, petit village près de Caernarvon, on exploite également les couches du cambrien inférieur. Mais la verticalité de ces couches et leur situation en plaine imposent un autre procédé d'exploitation, qui offre une grande analogie avec celui d'Angers. Les différences consistent surtout dans la hauteur des foncées, qui atteint 12 et même 15 mètres, et dans l'emploi de la poudre au lieu du pic pour pratiquer la coupe des chefs. Le travail se fait avec beaucoup moins de régularité qu'à Angers et on retrouve ici les inconvénients que nous avons signalés plus haut.

623. Exploitation souterraine. — L'exploitation souterraine se fait de trois manières différentes : 1° par gradins inclinés avec piliers abandonnés ; 2° par tranches horizontales avec piliers abandonnés ; 3° par gradins renversés avec ou

sans piliers abandonnés. Nous décrirons seulement, d'après M. Larivière, la première méthode, suivie dans les grandes ardoisières de Festiniog qui occupent 4.000 ouvriers.

La couche de phyllade de ce district appartient à l'assise de Llandeilo. Elle est subdivisée par des filons-couches de greenstone en quatre veines distinctes, nommées *flag*, *upper*, *old* et *south vein*, dont la meilleure est l'*old vein;* aussi c'est sur elle que sont ouvertes la plus grande partie des carrières. Le plan de fissilité de ces veines est incliné de 45° vers le nord magnétique et fait un angle de 15° avec le plan de stratification qui plonge de 30°. Quant au second clivage ou *pillaring*[1], sa direction est d'environ 15° nord magnétique et son inclinaison varie beaucoup suivant les localités.

Les principaux accidents qu'on rencontre dans les veines sont des filons de calcite qui altèrent la fissilité sur une épaisseur souvent considérable, des plans de séparation situés habituellement dans le voisinage des greenstones, des failles, des *posts,* sortes de délits qui courent parallèlement à la direction des couches sur de grandes distances.

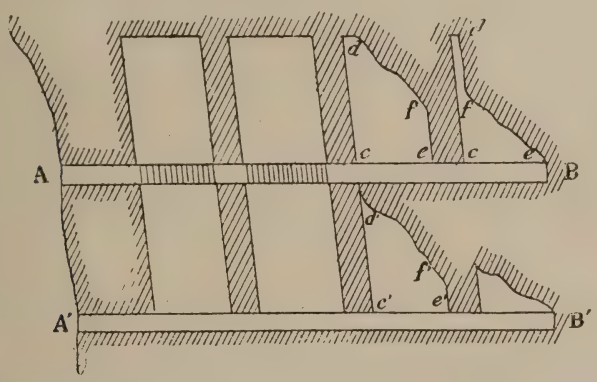


Fig. 273. — Plan des travaux d'une ardoisière souterraine à Festiniog.

Pour ouvrir une ardoisière, on commence par pousser au toit de la couche, en partant de l'affleurement à flanc de coteau, une galerie en direction AB (fig. 273) qu'on prolonge

1. De *pillar*, pilier; parce que c'est suivant sa direction qu'on trace les piliers de soutènement dans les travaux souterrains.

jusqu'au point extrême où doit se poursuivre l'exploitation. C'est suivant la direction du pillaring, qui fait un angle de 75 degrés avec celle de cette galerie, qu'on ouvre les *bargains* ou chantiers et qu'on trace les piliers (*walls*). La largeur d'un bargain varie de 10 à 40 mètres ; elle est déterminée d'après la solidité de la roche qui forme le toit, la nature et la position des délits. Quant aux piliers, leur épaisseur est généralement moitié de la largeur de la chambre.

L'installation d'un bargain débute par le percement d'une galerie montante *cd* ; lorsqu'elle est suffisamment avancée on taille la voûte suivant la ligne *ef* et on continue ce travail, analogue au crabotage des Ardennes, jusqu'à ce que tout le bargain soit ouvert sur une hauteur de 1m20. On pratique alors au-dessous de la galerie montante un fonçage suivant le pillaring, de manière à donner un second dégagement à la pierre, en profitant autant que possible des délits naturels qu'on rencontre dans la largeur du chantier.

Pendant qu'on exécute ces travaux au premier étage, on pousse à 17 mètres au-dessous, dans les mêmes conditions, une galerie A'B' et ainsi de suite jusqu'au fond de la vallée, en ayant soin de maintenir les travaux du premier étage en avance sur ceux du second.

L'alignement des piliers et des *bargains* est d'ailleurs ménagé de telle sorte que finalement les diverses chambres forment une suite d'excavations séparées par des murs continus. On préfère ne pas donner aux étages une hauteur supérieure à 17 mètres, parce que les blocs détachés au moment de l'abatage se briseraient en tombant ou en glissant le long du gradin ; d'autre part, on ne pourrait la réduire qu'en augmentant les frais des travaux préparatoires.

Pour maintenir la voie AB à l'étage n° 1 lorsque le schiste a été enlevé par suite de l'exploitation de l'étage n° 2, on suspend des ponts de bois au toit à l'aide de chaînes et de tringles ; on établit également des ponts transversaux le long des piliers, de manière à maintenir les communications nécessaires jusqu'à la fin de l'exploitation de toutes les chambres.

Les travaux que nous venons de décrire ne sont que des travaux préparatoires, exécutés par des mineurs qui emploient,

pour le sautage de la roche, le coton-poudre et la dynamite. L'abatage proprement dit est confié à des ouvriers spéciaux qui arrachent les blocs d'une manière méthodique, en utilisant les délits naturels parallèles à la couche, généralement distants de 1 mètre à $2^{m}50$, les délits perpendiculaires ou obliques à la stratification, enfin le plan de stratification.

La première opération consiste à couper le pied du banc au niveau de l'étage, soit au pic et à la barre s'il y a un délit naturel, soit à la mine dans le cas contraire, ce qui produit alors un grand déchet. La coupe terminée, le *rockman* perce un trou de 30 millimètres de diamètre, perpendiculairement à la stratification et à une distance du fonçage variant de $1^{m}30$ à 2 mètres, puis il le remplit entièrement de poudre sans faire aucun bourrage. L'explosion d'une ou plusieurs charges dans ces conditions suffit à fendre le schiste suivant le pillaring jusqu'au délit le plus voisin, sans toutefois l'étonner. Quand il n'existe pas à profondeur convenable un délit suivant la stratification, on pratique du côté du fonçage un trou de mine horizontal qu'on charge de 5 centimètres de poudre et qu'on bourre légèrement ; l'explosion produit la fente du bloc et on peut alors tirer la mine de pillaring qui achève de le dégager complètement. Les blocs que l'on obtient ont environ 4 mètres de longueur, $1^{m}20$ de largeur et 1 mètre d'épaisseur ; on les fait glisser à l'aide de leviers jusqu'au niveau de l'étage, puis on les divise suivant le pillaring et le plan de fissilité, au moyen d'un marteau et d'un ciseau, en dalles de 50 centimètres de largeur et 10 centimètres d'épaisseur.

624. Fabrication des ardoises. — Les blocs extraits de la carrière sont conduits aux ateliers de fenderie. L'ouvrier fendeur prend un bloc et, après examen, le place verticalement en tournant vers le haut la tranche la plus nette perpendiculaire au pillaring. Avec son ciseau il fait d'abord une entaille au centre, puis deux ou trois autres dans le prolongement de la première ; il replace son ciseau au centre en l'enfonçant plus profondément, et détermine la séparation en insérant un second ciseau dont il se sert simultanément avec le premier pour faire levier. Parfois, lorsque le schiste est traversé par des bandes

de matières non homogènes, il lui faut avoir recours à un troisième ciseau qu'il enfonce par le côté.

Un autre ouvrier, assis devant un petit billot sur lequel est fixée une lame d'acier, taille l'ardoise en frappant à petits coups le feuillet sur cette lame au moyen d'un lourd couteau.

Comme la division de la pierre suivant son travers, qui ne se fait pas plus facilement que pour le schiste ardennais, donne un déchet assez considérable, on effectue souvent cette séparation au moyen de scies circulaires. Les blocs amenés à l'atelier sont refendus à l'épaisseur de 5 centimètres environ, divisés suivant le pillaring, puis sciés suivant la direction du travers aux longueurs maxima des échantillons que comporte leur largeur. La scie tourne dans une auge pleine d'eau afin d'éviter que, par son échauffement, elle n'altère la fissilité qui ne se conserve entière que par la présence de l'humidité.

On a cherché à fendre mécaniquement le schiste, mais on n'a obtenu que des résultats plus que médiocres. Quant à la taille, on la pratique souvent à l'aide de machines à lames verticales ou de cisailles.

Les échantillons, de forme rectangulaire, ont des dimensions variant de 10 pouces sur 8 à 30 pouces sur 16. L'échantillon moyen, de 22 pouces sur 11, ou 56 centimètres sur 28, pèse environ 3.000 kilogr. le mille.

D'après M. Larivière, la production totale du Pays de Galles qui, en 1878, était évaluée à 700.000 tonnes, a suivi constamment depuis cette époque une marche décroissante. C'est ainsi que la statistique pour 1883 n'accuse plus qu'un chiffre de 500.000 tonnes représentant une valeur de 1.300.000 livres sterling, ce qui correspond à 65 fr. la tonne. Cette industrie occupe en tout 14.500 ouvriers.

En admettant que le rendement total moyen du schiste exploité ne soit guère que de 1/15, on voit que la production ci-dessus nécessite chaque année l'extraction de 7.500.000 tonnes ou plus de 2.500.000 mètres cubes de schiste.

§ VIII.

TYPES DIVERS DE TERRAINS DE TRANSITION

625. Plateau Central de la France. — Autour du Plateau Central, les terrains de transition sont peu développés. Le système cambrien se montre çà et là, en affleurements de faible étendue, généralement assez mal définis, sauf dans la Montagne Noire où M. Bergeron vient de retrouver la faune primordiale, consistant surtout en paradoxides, que jusqu'à présent on avait vainement cherchée en France.

Dans la Corrèze, on rapporte au cambrien les schistes ardoisiers demi-cristallins des environs de Brive, qui passent insensiblement au micaschite et même au gneiss du terrain primitif. Cette transition peut s'observer par exemple près de Travassac, où l'on voit les premières couches de micaschiste, appuyées sur le granite, divisibles en lames très minces, mais courtes, perdre peu à peu une partie de leur mica, en donnant des feuillets de plus en plus nets et étendus et devenant moins brillants, puis se transformer progressivement en schistes noir bleuâtre, à larges feuillets, qui enclavent encore fréquemment de petites lamelles de mica noir.

Ces schistes fournissent des ardoises de belle qualité, dures, résistantes et sonores. On les exploite de temps immémorial dans plusieurs carrières qui occupent 300 à 400 ouvriers, surtout à Travassac et à Alassac. L'exploitation se fait au moyen d'énormes entailles verticales creusées dans le sens des feuillets du schiste qui présentent souvent une surface unie sur toute la hauteur des deux parois, c'est-à-dire sur près de 120 mètres. A Travassac, ces grandes coupures parallèles, dont la largeur est de 8 à 10 mètres et qui entament le sommet d'une montagne, au pied desquelles sont entassés les débris de fabrication, produisent un effet très curieux. L'exploitation a lieu aussi par travaux souterrains à Alassac.

Le terrain silurien se signale parfois par sa richesse en fossiles d'une belle conservation. A Murasson (Aveyron) et près de Pézenas (Hérault), il se compose principalement de schistes verts dans lesquels se trouvent de grands trilobites de la faune seconde et auxquels succèdent des schistes noirs noduleux à orthocères appartenant à l'étage bohémien.

Le terrain dévonien a une grande épaisseur dans la Montagne Noire près de la petite ville de Caunes (Aude). Là il repose sur des calcaires grisâtres, un peu cristallins, qui paraissent représenter la partie supérieure du silurien, et il se compose essentiellement d'un massif calcaire, d'environ 3.000 mètres de puissance, intercalé entre deux assises schisteuses d'une moindre épaisseur. Il est très accidenté ; les schistes y offrent des plis et des courbures prononcées, y prennent des teintes violacées, vertes, etc., et passent au calschite en s'incorporant çà et là un peu de calcaire.

Le calcaire de la masse principale est plus ou moins compact et sa couleur ordinaire est un gris de plusieurs nuances qui n'a rien de remarquable. C'est sur ce fond uniforme que se développent capricieusement en certains points de riches couleurs qui donnent naissance à ces beaux marbres, dont quelques-uns sont uniques, connus sous le nom de *marbres du Languedoc*. Les principales exploitations sont dans les environs mêmes de Caunes.

La plus simple de ces colorations consiste en une sorte de flambage qui a produit des taches rouge de chair sur le fond gris du calcaire compact, en donnant un marbre commun très employé dans le Languedoc, dont les faces polies montrent fréquemment des sections circulaires d'encrines. Il semble préluder à la formation de la variété magnifique à laquelle on donne le nom de *grand incarnat*, qui se trouve à peu de distance au-dessus, et qui présente comme fond une belle couleur d'un rose foncé tirant sur le rouge vif, avec des taches irrégulières, cristallines, blanches, légèrement zonées de gris très clair, ordinairement allongées et flexueuses. Il y a d'autres gîtes qui fournissent des variétés à petites parties colorées et serrées, qu'on appelle *cervelas*, *rosé*, etc. ; mais le marbre le plus intéressant de tous au point de vue géognosti-

que est la *griotte* et ses dérivés, dont le gisement, exceptionnel du reste, appartient au sommet du massif calcaire, presque au contact des schistes supérieurs.

La griotte est un calcaire entrelacé de parties schisteuses. La première couche en remontant est celle qui fournit le plus beau marbre ; elle a environ 12 mètres de puissance et se divise en plusieurs lits. Le schiste est d'un rouge sombre, tandis que le calcaire est d'un rouge vif mélangé de quelques parties blanches. Le calcaire forme constamment des amandes au milieu du schiste, circonstance qui a fait désigner ce marbre sous le nom d'*amygdalin* ; mais en y regardant de plus près, on reconnaît que la plupart de ces amandes ne sont autre chose que de petites goniatites déformées, ou des clyménies, dont les cloisons apparaissent très nettement sur les surfaces polies. Ces fossiles sont surtout distincts dans la variété dite *œil de perdrix*.

Le marbre griotte passe par transitions insensibles à des calcaires schisteux, mélangés tantôt de schiste rouge et donnant un marbre imparfait, tantôt de schiste vert de manière à former un marbre analogue au campan des Pyrénées.

Les schistes qui terminent le dévonien sont d'abord très micacés et rougeâtres, puis grisâtres. Ils plongent d'environ 75 degrés vers le sud-est et se présentent sous la forme d'un mur élevé qui, en dessinant les contours des terrains anciens, permet de saisir facilement la constitution géologique du pays.

La coloration des marbres de Caunes, l'état concrétionné de l'incarnat, la déformation des goniatites, toutes ces circonstances semblent démontrer, d'après Leymerie, qu'une puissante action thermo-minérale est venue agir après coup sur les assises dévoniennes, en même temps qu'une violente pression, et y introduire des substances colorantes principalement empruntées à l'oxyde de fer.

626. Bohême. — Les terrains cambrien et silurien de la Bohême sont célèbres par les belles études paléontologiques de Barrande, qui y a distingué trois faunes distinctes, la faune primordiale, correspondant à l'étage scandinavien, et les faunes seconde et troisième, correspondant respectivement aux étages armoricain et bohémien.

L'étage ardennais est représenté par des schistes quartzifères reposant en discordance de stratification sur les schistes cristallins du terrain primitif et par la grauwacke de Przibram qui renferme des conglomérats à galets quartzeux. On n'y trouve pas d'autres fossiles que des *Arenicolites*. Au-dessus viennent, également en stratification discordante, des schistes fissiles verts et brunâtres appartenant à l'étage scandinavien. C'est là que l'on rencontre la faune primordiale, caractérisée surtout par les paradoxides avec quelques autres trilobites et de rares mollusques.

Le système silurien n'occupe qu'un espace ovalaire d'assez faible étendue, près de l'une des extrémités duquel est située la ville de Prague. En revanche, il a une grande puissance et une extrême richesse en fossiles, car Barrande n'y a pas découvert moins de 3.000 espèces.

Les deux étages armoricain et bohémien ne s'y distinguent pas seulement par leurs faunes, mais encore par des caractères minéralogiques très tranchés. Tandis que le premier se compose presque uniquement de schistes et de grès passant au quartzite, à l'exclusion à peu près absolue du calcaire, ce dernier élément devient tout à fait prédominant dans le second étage. De plus ils sont souvent séparés par des coulées stratoïdes de diabase, alternant avec des schistes argileux noirs à graptolithes.

Non seulement chaque étage, mais encore chacune des assises entre lesquelles on le subdivise, a ses espèces particulières qui servent à le caractériser. Toutefois, on voit apparaître à certains niveaux, surtout vers le sommet de l'étage armoricain, des enclaves lenticulaires contenant un ensemble de fossiles qui diffèrent de ceux de la faune seconde et qui au contraire ont de grandes affinités avec ceux de la faune troisième. Barrande considère ces intercalations comme des *colonies*, c'est-à-dire comme les résultats de migrations momentanées, plusieurs fois répétées, des espèces d'un bassin silurien voisin, dont le développement organique marchait plus rapidement que celui de la mer silurienne de Bohême. L'une de ces colonies, désignée sous le nom de *Colonie-Zippe*, se trouve dans l'enceinte même de la ville de Prague.

627. Scandinavie. — Le terrain primitif est recouvert en Norvège par des grès et des conglomérats à éléments granitiques auxquels on a donné le nom de *formation sparagmitique* ou *sparagmite*[1]. Cet ensemble, qui peut atteindre 700 mètres de puissance, renferme quelques intercalations de calcaire à sa base et de schistes argileux à divers niveaux. Il ne contient aucun fossile et semble correspondre à l'étage ardennais.

Dans le sud de la Scandinavie, notamment dans les environs de Christiania, le cambrien est fossilifère et se divise nettement en deux parties. L'inférieure consiste en grès et grauwackes avec empreintes d'algues et notamment de *fucoïdes*[2]; c'est l'étage ardennais. La partie supérieure, composée de schistes noirs alunifères avec quelques couches calcaires, contenant d'abord des paradoxides, puis des *Olenus*, est l'étage scandinavien; elle a à peine 50 mètres de puissance maxima.

Il est à remarquer que la faune cambrienne de Norvège diffère notablement dans son ensemble de celle de Bohème et qu'elle a au contraire une grande ressemblance avec celle du Pays de Galles, ce qui indique que ces deux régions se trouvaient alors dans le même bassin marin.

Le silurien comprend en Suède une longue série de schistes charbonneux remplis de graptolithes, dont l'épaisseur est de près de 600 mètres, et se termine par des calcaires à orthocères et à calymènes. Dans les environs de Bergen (Norvège), ce terrain a été profondément modifié par le métamorphisme dû à l'épanchement des roches granitiques; il est souvent transformé en micaschites ou en schistes micacés dans lesquels se montrent des empreintes de trilobites.

On rapporte au dévonien quelques grès et conglomérats superposés aux calcaires à orthocères et qui ont quelque analogie avec le vieux grès rouge.

628. Iles Britanniques. — Nous avons donné plus haut

1. Σπαραγμα, fragment.
2. Plantes voisines des *fucus* ou varechs actuels.

(n° 621) la série des assises cambriennes et siluriennes dans les régions classiques anglaises. Le dévonien se présente sous deux faciès : l'un, entièrement marin, avec ses coraux, ses mollusques et ses trilobites; l'autre, en grande partie lacustre, où l'on ne trouve guère que des restes de poissons.

Le premier faciès a son développement principal dans le Devonshire et le Cornouailles, où il est formé par des schistes verts, des quartzites et des grès, entre lesquels sont intercalés des schistes calcaires et des calcaires marmoréens de couleur gris bleu. Il se divise en trois étages comme le type ardennais, mais avec bien moins de netteté.

Le second faciès est l'*old red sandstone*, ou vieux grès rouge, qui affleure dans le sud du Pays de Galles et en Ecosse. La roche dominante est un grès siliceux où les grains de quartz sont réunis par un ciment ferrugineux rouge; elle alterne avec des conglomérats à galets de quartz, de granite et de grauwacke et des lits d'argile schisteuse rouge violâtre, tachetée de verdâtre, contenant un calcaire impur, concrétionné ou aggloméré, auquel on donne le nom de *cornstone* dans le pays. C'est dans ces cornstones et dans les schistes les plus chargés de calcaire que l'on trouve habituellement les débris de poissons (*Cephalaspis*, *Pterichthys*, *Holoptychius*, etc.).

L'équivalence du vieux grès rouge et du dévonien du Devonshire est établie par les mêmes espèces de poissons, dont quelques représentants se trouvent à divers niveaux dans ce dernier terrain.

629. Pays divers. — Le silurien n'a dans aucun pays d'Europe une extension comparable à celle qu'il atteint en Russie. Ses couches, presque horizontales, affleurent jusqu'à de grandes distances à l'est et à l'ouest de Saint-Pétersbourg; elles sont formées tantôt d'argiles, tantôt de sables meubles, de schistes bitumineux et de calcaires argileux, en sorte que leur constitution pétrographique rappelle plutôt les formations sédimentaires récentes que des dépôts remontant à une date aussi reculée.

Le dévonien a également une grande importance en Russie, où il recouvre une surface plus vaste que les îles Britanni-

ques. On y retrouve les deux faciès de cette dernière contrée : le grès avec débris de poissons et le dévonien calcaire à fossiles analogues à ceux du Devonshire.

La faune primordiale existe en Espagne dans les Asturies, où elle se trouve dans des schistes recouverts par des grès à bilobites qui représentent la base du silurien. Ce dernier terrain comprend en outre des schistes à calymènes et autres fossiles de la faune seconde, puis des schistes ampéliteux à graptolithes ; le célèbre gisement de mercure d'Almaden y est enclavé. Quant au dévonien, il présente les mêmes divisions que dans les Ardennes et renferme de beaux marbres, notamment des griottes à goniatites.

Dans l'Amérique du Nord, le terrain silurien couvre une surface considérable ; il atteint par places une épaisseur de plus de 4.000 mètres en offrant une remarquable variété de sédiments. Les calcaires à calymènes, qui prédominent à la partie supérieure, sont intéressants par la présence du gypse et du sel ; le premier forme des amas irréguliers qui parfois ont fait gonfler les couches encaissantes, comme s'ils résultaient de la transformation de l'anhydrite. Ce sont ces calcaires, très résistants, qui constituent le déversoir sur lequel le Niagara s'écoule en donnant lieu à une cataracte de 50 mètres de hauteur (n° 39).

Le dévonien américain a un faciès tout spécial qui rend difficile l'assimilation de ses étages avec ceux du dévonien d'Europe. C'est vers la partie supérieure de ce système que se trouvent les grands amas souterrains de pétrole du nord de la Pensylvanie.

CHAPITRE XV

PÉRIODE CARBONIFÈRE

§ I. Caractères de la période carbonifère. — § II. Étage anthracifère. — § III. Étage houiller. — § IV. Types de bassins houillers. — § V. Étage permien.

§ I.

CARACTÈRES DE LA PÉRIODE CARBONIFÈRE

630. Traits distinctifs de cette période. — Dans les âges reculés que nous venons de traverser, les continents étaient peu étendus, mal assis, soumis à de fréquentes oscillations, et ce n'est guère que dans la période dévonienne qu'ils ont commencé à prendre un peu de stabilité. C'est sans doute là l'une des causes pour lesquelles la végétation terrestre est restée si longtemps en retard.

D'autre part, la vie était presque exclusivement marine et les animaux à respiration aérienne ne semblent avoir fait qu'une timide apparition, puisqu'on ne connaît encore que le scorpion signalé récemment dans le silurien de Suède et quelques insectes.

La période carbonifère diffère radicalement à cet égard de celles qui l'ont précédée. Les continents, définitivement installés, se couvrent d'une riche végétation, à croissance rapide, dont les débris s'enfouissent dans le sol pour constituer ces puissants amas de charbon minéral, si précieux pour l'in-

dustrie moderne. Des animaux à respiration aérienne vivent sur les rivages des mers ou parcourent les forêts immenses qui couvrent les continents : ce sont d'abord des reptiles amphibies, puis plus tard des vertébrés terrestres dont quelques-uns sont analogues à nos salamandres. Quoique déjà placés au-dessus des poissons dans l'échelle des êtres, ces animaux ne sont encore, comme on voit, que des vertébrés inférieurs; les mammifères et les oiseaux ne viendront que dans l'ère suivante.

Tels sont les grands traits distinctifs de la période carbonifère : exubérance de la végétation, développement des vertébrés à respiration aérienne.

Des géologues éminents ont voulu établir une corrélation entre ces deux faits. Pour eux, l'atmosphère aurait été jusque-là trop chargée d'acide carbonique pour que la vie animale pût se déployer ailleurs que dans l'océan, et la formation de la houille aurait joué un rôle providentiel en purifiant cette atmosphère et la rendant respirable.

Mais c'est là une hypothèse gratuite que rien ne nous paraît justifier. Sans compter que les animaux à respiration aérienne sont bien plus anciens que la période carbonifère, il faut remarquer en effet qu'ils commencent à se développer dès le début de cette période, alors que cette prétendue épuration de l'atmosphère devait être bien peu avancée. On sait d'ailleurs que l'acide carbonique n'exerce pas par lui-même une action délétère sur les organes et qu'il peut exister en proportions assez considérables dans l'air sans que les animaux en soient gravement incommodés ; or, quelques millièmes d'acide carbonique répandus dans l'atmosphère suffiraient à fournir le carbone contenu dans tous les gisements houillers connus, en admettant même que des émanations internes n'aient pas apporté leur contingent.

C'est encore à partir de cette époque que l'on peut véritablement distinguer trois régimes bien distincts dans les formations sédimentaires, le *régime continental*, le *régime côtier* et le *régime pélagique*, que nous retrouverons dans toutes les périodes géologiques suivantes. Les dépôts côtiers sont les plus intéressants au point de vue pratique, parce que ce sont eux qui renferment les amas de combustible minéral.

Toutefois, les mers ne devaient pas être encore très profondes. D'après M. Forbes, elles ne dépassaient guère 90 mètres.

631. Faune carbonifère. — *Zoophytes.* — Si nous commençons l'étude de la faune carbonifère par les animaux inférieurs, nous voyons les foraminifères, assez rares jusqu'alors, gagner en importance. Le corps de ces petits animaux est protégé par une coquille calcaire simple ou divisée en loges successives communiquant entre elles ; tantôt elle a une seule ouverture, tantôt, ce qui est le cas le plus fréquent, elle est percée d'une multitude de petits trous. La figure 274 représente la coupe théorique d'une coquille de foraminifère à cinq loges, considérablement agrandie.

Fig. 274. — Coupe idéale d'un foraminifère.

Fig. 275. — *Fusulina cylindrica* (grossie).

Les principaux foraminifères de la période carbonifère sont des *fusulines* (fig. 275), qui ressemblent à un petit fuseau de la grosseur d'un grain de blé, et qui sont si abondantes dans certaines assises de la Russie qu'on les a comparées au calcaire à miliolites des environs de Paris. En Angleterre, le calcaire carbonifère des environs de Bristol se distingue par une texture oolithique dont les petits grains apparaissent au microscope comme formés également de foraminifères.

Les polypiers, qui ne se différencient pas beaucoup de ceux des époques précédentes, sont nombreux et forment des massifs considérables, comme dans le dévonien. Nous citerons les genres *Lithostrotion* (fig. 276), *Fenestella*, *Amplexus*, etc.

Les oursins sont moins rares que dans les périodes antérieures. Leur enveloppe est formée de 30 à 50 séries de plaques testacées, tandis que chez tous ceux qui ont apparu ensuite le nombre de ces séries ne dépasse pas 20. Tel est le

Palæocrinus ellipticus du calcaire carbonifère de la Belgique (fig. 277).

Les crinoïdes ou encrines atteignent le maximum de leur développement et arrivent à constituer des couches puissantes par l'accumulation de leurs débris, de même que dans le dévonien.

Fig. 276. — *Lithostrotion basaltiforme*, du calcaire carbonifère.

Fig. 277. — *Palæochrinus ellipticus*, du calcaire carbonifère (Vogt).

Mollusques. — L'embranchement des mollusques se présente avec un assez grand caractère d'uniformité. La prédominance appartient aux *Productus* (fig. 278, 279), brachiopodes à coquille bombée, très inéquivalve, souvent couverte d'é-

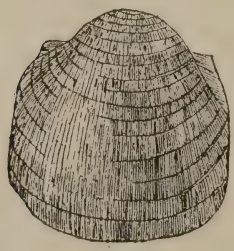


Fig. 278. — *Productus Cora*, du calcaire de Visé.

Fig. 279. — *Productus horridus*, du zechstein.

pines tubuleuses, dont la grande valve est concave et la petite valve convexe.

Des autres brachiopodes, les spirifères sont en décroissance ;

ils ont changé de forme en ce qu'ils sont devenus lisses et que leurs ailes se sont arrondies (fig. 280, 281). Il y a aussi d'assez nombreux représentants des *Athyris* (fig. 282) et des *Orthis*, genres exclusivement paléozoïques.

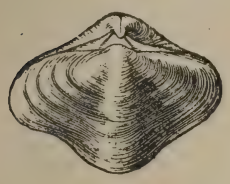


Fig. 280. — *Spirifer glaber*, du calcaire carbonifère.

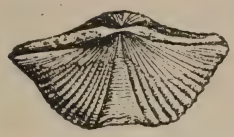


Fig. 281. — *Spirifer undulatus*, du terrain permien.

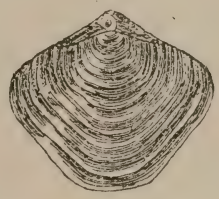


Fig. 282. — *Athyris lamellosa*, du calcaire de Tournai.

Les céphalopodes ne se sont guère modifiés. Ils consistent encore en orthocères, nautiles, goniatites, qui fournissent des espèces caractéristiques.

Fig. 283. — *Bellérophon costatus*, du calcaire carbonifère.

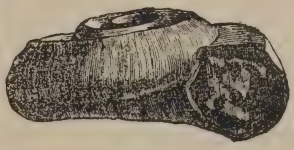


Fig. 284. — *Euomphalus pentangulatus*, du calcaire carbonifère.

Parmi les types spéciaux de gastéropodes, nous mentionnerons le *Bellérophon* (fig. 283), à coquille enroulée symétriquement sur elle-même, qui ressemble à un nautile de petite taille, mais s'en distingue par l'absence de cloisons, et l'*Euomphalus* (fig. 284), dont la forme est celle des planorbes de nos ruisseaux.

Articulés. — Le groupe des trilobites qui, après avoir été si florissant dans le silurien, était entré en décadence dans le dévonien, s'éteint au début de la période carbonifère avec le genre *Phillipsia* (fig. 285).

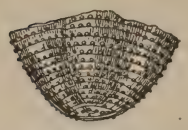


Fig. 285. — Abdomen de *Phillipsia gemmulifera*, du calcaire de Tournai.

Les insectes carbonifères, dont on ne connaissait il y a peu de temps encore qu'une centaine, apparaissent maintenant comme une des classes les plus riches, grâce surtout aux persévérantes recherches de M. Fayol dans les schistes houillers de Commentry ; on en découvrirait sans doute un plus grand nombre si ces êtres délicats n'étaient susceptibles de se décomposer promptement à l'air, loin des lieux où se forment les sédiments, ou de servir de nourriture à d'autres animaux.

Leur développement si rapide est la conséquence de l'exubérance de la végétation, car ils se nourrissent surtout de feuilles. Quelques-uns d'entre eux, à l'exemple des plantes au milieu desquelles ils vivaient, étaient de taille gigantesque : tel est un spectre de l'ordre des orthoptères, le *Dictyoneura Monyi*, qui était pourvu d'ailes de 0^m30 de longueur et avait par suite au moins 0^m70 d'envergure.

Les orthoptères comprennent encore de nombreuses blattes, dont une espèce pullule sous les fours des boulangers et porte le nom vulgaire de cri-cri. Il y avait, en outre, des coléoptères, voisins des charançons et des scarabées, des lépidoptères ou papillons de grande taille, des hémiptères et des névroptères. M. Ch. Brongniart a reconnu que ce dernier ordre et celui des orthoptères présentent des caractères communs, en sorte qu'on pourrait les réunir en un seul groupe.

Les insectes sont plus anciens que la période carbonifère, car on en a signalé dans le dévonien et jusque dans le silurien. Il est remarquable que, de tous les êtres, ce sont ceux qui se sont le moins transformés ; ils sont arrivés jusqu'à notre époque sans subir de modifications importantes dans leurs organes extérieurs.

Vertébrés. — Les ganoïdes cuirassés n'ont guère survécu à la période dévonienne ; les poissons carbonifères consistent

surtout en ganoïdes écailleux, qui deviennent très variés de formes et peuvent atteindre une grande taille. Tel est le *Palæoniscus* (fig. 286), à écailles striées ou ponctuées. Certains de ces poissons (*Megalicthys*) étaient semblables au *Ceratodus* actuel

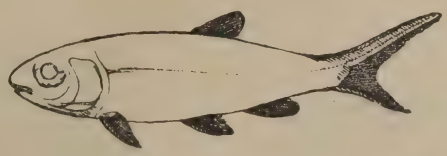


Fig. 286. — *Palæoniscus ;* contour restauré par Agassiz.

de l'Australie, en ce qu'ils respiraient à la fois par des branchies, comme les poissons ordinaires, et par des poumons, comme les vertébrés supérieurs, ce qui leur permettait de vivre dans la vase desséchée.

Dès le début de la période apparaissent les batraciens ou reptiles amphibies. Ces animaux présentent un grand intérêt géologique, en ce qu'ils impliquent un changement de vie ; de même que les grenouilles de nos jours, ils commencent, après l'éclosion des œufs, à respirer l'air dans l'eau à l'aide de branchies ; plus tard, à l'état parfait, ils acquièrent la respiration aérienne au moyen de poumons. La vie sort pour ainsi dire du sein des eaux pour se répandre peu à peu sur les terres émergées.

Le premier batracien en date est le *Sauropus primævus*, connu par des traces de ses pas sur des schistes anthracifères d'Amérique.

Un peu plus tard viennent les *Labyrinthodontes*, ainsi nommés à cause de la forme compliquée de leurs dents dont les sillons très sinueux dessinent une sorte de labyrinthe (fig. 287). Ces animaux, dont les débris se rencontrent souvent en Nouvelle-Écosse dans des troncs de sigillaires, en compagnie d'insectes, et qui se divisent en plusieurs genres, semblent tenir le milieu entre les crapauds et les lézards, tout en étant recouverts de plaques osseuses comme les crocodiles ; ils avaient, de plus, conservé quelques traits des poissons, entre autres la biconcavité des vertèbres. C'est donc bien une forme de transition.

C'est également à la classe des batraciens qu'appartient le *Protriton* (fig. 288), animal de petite taille qui ressemble à une salamandre à queue très courte et qui se trouve dans les schistes des environs d'Autun.

Fig. 287. — Section de dent de *Labyrinthodon* (grossie).

Fig. 288. — *Protriton petrolei*, gr. nat., vu sur le ventre (d'après M. Gaudry).

Les reptiles véritables commencent à se montrer dans le terrain houiller d'Amérique, avec des vertèbres encore biconcaves. Mais c'est surtout dans le dernier étage du système carbonifère, le permien, qu'ils deviennent abondants. L'un des plus curieux est le *Stereorachis* décrit par M. Gaudry ; il se signale par l'ossification complète de ses vertèbres, qui en fait un type plus élevé que les autres reptiles qui l'accompagnent dans les schistes permiens de l'Autunois.

632. Flore carbonifère. — Au point de vue géologique, c'est surtout la flore carbonifère qui est intéressante à examiner, car c'est avec son aide, bien plutôt qu'avec celui des fossiles animaux, qu'on peut arriver à classer les diverses assises.

On a cru pendant longtemps qu'elle ne comprenait que des cryptogames acrogènes. Mais les beaux travaux de MM. Brongniart, Grand'Eury, Renaud, Zeiller, ont démontré que la végétation ne se renfermait pas dans un cercle aussi étroit et

qu'à cette époque vivaient déjà des plantes à fleurs visibles, c'est-à-dire des phanérogames de la classe des gymnospermes. Voici comment se subdivisent ces deux groupes :

Acrogènes.....	Lycopodiacées. Fougères. Équisétacées.
Gymnospermes...	Cycadées. Cordaïtes. Conifères. Gnétacées.

On n'a pas encore découvert dans les couches carbonifères de cryptogames amphigènes, de monocotylédones ni de dicotylédones angiospermes.

L'étude des végétaux fossiles présente d'ailleurs de grandes difficultés. On ne les trouve presque jamais en effet à l'état complet ; ce ne sont le plus ordinairement que des portions ou des fragments de tiges, de rameaux ou de feuilles, plus rarement des fruits ou des fleurs séparés des autres parties de la plante. De plus, ces végétaux, ainsi réduits à quelques-uns de leurs organes isolés, ne les offrent presque jamais dans un état de conservation qui permette de les étudier dans toutes leurs parties constituantes. Ainsi, les tiges n'ont souvent laissé d'autres traces que leur forme extérieure ; dans d'autres cas, que leur structure interne, presque toujours altérée ; les feuilles ne laissent voir que d'une manière imparfaite le réseau de leurs nervures et enfin, pour les fruits, le botaniste en est réduit à se guider sur leur aspect extérieur pour apprécier leurs affinités. On conçoit dès lors comment une même espèce, étudiée successivement dans chacune de ses parties, a pu être placée dans plusieurs genres jusqu'à ce que des échantillons plus complets aient permis de la reconstituer tout entière.

Dans des circonstances exceptionnelles, on a été assez heureux pour saisir sur le fait les détails les plus intimes de l'organisation des plantes houillères. Ainsi, dans le bassin de Saint-Étienne, à Grand-Croix, on trouve à la surface du sol des noyaux ou des grains silicifiés. En les taillant en lames minces et les examinant au microscope, on a reconnu qu'ils sont le résultat de la silicification sur place de feuilles, de fleurs,

de fruits. Cette transformation en silice a été opérée par des sources thermales siliceuses qui ont accompagné l'éruption des porphyres de l'époque houillère.

Lycopodiacées. — La famille des lycopodiacées, dont le type actuel est l'humble lycopode qui ressemble à de grandes mousses rampantes, comprenait, dans la période carbonifère, des arbres gigantesques, les *Lepidodendron* (fig. 289). Le tronc de ces arbres s'élevait à 30 et 40 mètres et mesurait souvent plus d'un mètre et demi de largeur ; il était primitivement cylindrique, mais à l'état fossile il est presque toujours comprimé. Il se ramifiait par dichotomie et était muni de feuilles linéaires qui, en disparaissant, ont laissé de grandes cicatrices à sa surface. Les organes de la fructification étaient rassemblés en épis coniques, à écailles imbriquées, que l'on appelle vulgairement *cônes fossiles*, auxquels Brongniart a donné le nom de *Lepidostrobus*, et qui constituent parfois le noyau de boules concrétionnées d'oxyde de fer argileux.

Fig. 289. — *Lepidodendron crenatum.*

Fig. 290. *Sigillaria pachyderma.*

Les *Sigillaria* (fig. 290), qui appartiennent à la même famille, sont du nombre des arbres les plus communs de la période carbonifère. Ils pouvaient atteindre la hauteur d'une trentaine de mètres ; leur tige était droite, régulière, cannelée, non ramifiée, si ce n'est exceptionnellement. Cette tige porte des cicatrices pétiolaires allongées, marquées au milieu d'un

point embrassé par deux croissants, ressemblant à l'empreinte d'un sceau, ce qui a fait donner à la plante son nom.

Les troncs de sigillaires, dont le diamètre variait de 30 centimètres à 2 mètres, devaient se décomposer plus rapidement à l'intérieur qu'à l'extérieur et finir par devenir creux tout en gardant leur position verticale. Lorsqu'ils venaient à tomber, ils s'affaissaient par la compression et s'aplatissaient ; c'est pour cela que l'écorce, aujourd'hui convertie en houille, forme souvent deux couches superposées, de 15 à 25 millimètres d'épaisseur chacune. Quand ces troncs sont dirigés obliquement ou verticalement par rapport aux plans de stratification, ils conservent leur forme cylindrique et l'intérieur est rempli de sable.

Les *Stigmaria* (fig. 291), que l'on prenait autrefois pour des végétaux aquatiques, ne sont autre chose que les racines des sigillaires et sans doute aussi des Lepidodendron. Elles étaient munies de nombreuses radicules qui s'étendaient parfois souterrainement à des distances de plus de 20 mètres.

On rapporte encore à la famille des Lycopodiaciées les *Sphenophyllum*, dont les feuilles cunéiformes sont disposées en verticilles (fig. 292).

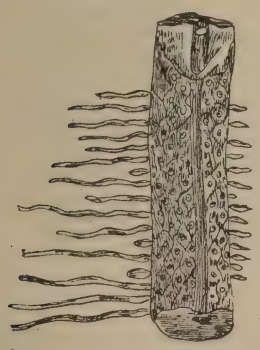


Fig. 291. — *Stigmaria.*

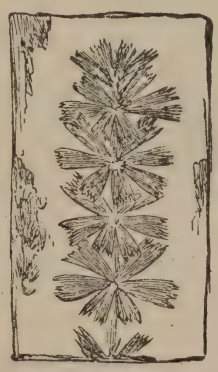


Fig. 292.
Sphenophyllum dentatum.

Fougères. — La famille des fougères est la plus riche en genres et en espèces de toute l'ère paléozoïque. Ses types les plus nombreux et les plus intéressants appartiennent au groupe des fougères arborescentes, dont les troncs atteignaient 15 et

20 mètres de hauteur ; mais il y avait également des fougères herbacées, avec des feuilles qui parfois n'avaient pas moins de 10 mètres.

Les débris de ces plantes sont souvent mélangés les uns avec les autres. Ce n'est que par exception que l'on rencontre les feuilles adhérentes aux tiges ; aussi il y a eu dans l'application des noms génériques des fougères des doubles emplois, qu'une étude plus attentive fait disparaître de jour en jour. La rareté des organes de fructification est un fait spécial à la période carbonifère ; à défaut de ce caractère important, on a dû se fonder surtout sur la disposition des nervures des folioles et sur les ramifications des feuilles pour établir les genres.

Fig. 293.
Nevropteris Loshii.

Fig. 294.
Sphenopteris Hœninghausi.

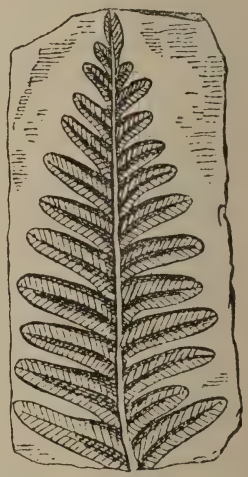


Fig. 295.
Pecopteris aquilina.

Parmi les principales fougères carbonifères on remarque : les *Nevropteris* (fig. 293), à larges folioles échancrées en cœur à la base, marquées de fines nervures ; les *Sphenopteris* (fig. 294), dont les feuilles élégantes ont des folioles nombreuses pédonculées et très découpées ; les *Odontopteris*, munis de feuilles gigantesques, de 5 à 6 mètres de longueur, qui naissaient probablement de souches volumineuses et charnues et

dont les folioles, aplaties à l'état fossile, ont l'apparence de lames minces, striées, larges de 30 à 40 centimètres ; les *Caulopteris*, qui rappellent les fougères arborescentes actuelles par leur port et par l'aspect de la tige, marquée à l'extérieur de cicatrices provenant de la disparition des feuilles ; les *Pecopteris* (fig. 295), qui ressemblent aux *Pteris* de nos bois.

D'une manière générale, les fougères n'ont contribué que pour une assez faible part à la formation du charbon minéral. Dans certains bassins houillers, il y a cependant des lits qui sont formés presque exclusivement avec leurs troncs.

Equisétacées. — On a signalé dans les houillères de l'Angleterre et de la Silésie de véritables *Equisetum*, ressemblant beaucoup au prêle actuel, ou *Equisetum arvense*, connu vulgairement sous le nom de *queue de cheval.*

Néanmoins la famille est surtout représentée dans l'ère paléozoïque par le genre *Calamites*, qui diffère de l'*Equisetum* vivant par l'absence complète de gaîne foliacée et d'appendices extérieurs, ces derniers se trouvant remplacés par des verticilles de petits tubercules qu'on a pris pour des rameaux

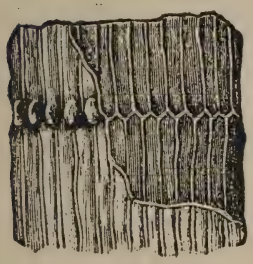


Fig. 296. — *Calamites Suckovii.*

Fig. 297. — *Annularia brevifolia.*

avortés, mais qui s'en rapproche par sa tige creuse, cannelée longitudinalement, divisée dans le sens transversal par des lignes d'articulation et terminée par un chaton entouré de feuilles (fig. 296).

Les calamites n'avaient pas plus de 4 à 5 m. de hauteur. C'étaient des plantes de marais, munies de minces racines

traçantes qui couraient dans la vase, émettant çà et là des tiges aériennes.

Les *Annularia*, qui viennent se ranger à côté des calamites dans la même famille, étaient des plantes aquatiques, à port élégant, qui étalaient à la surface des eaux leurs verticilles de feuilles obtuses et soudées à la base (fig. 297).

On sait que les équisétacées actuelles renferment dans leurs tissus une forte proportion de soufre. Il en était probablement de même dans la période carbonifère pour les plantes de la même famille, et on expliquerait ainsi en partie, d'après Dieulafait, pourquoi les houilles sont toujours imprégnées de principes sulfurés. L'absence des alcalis carbonatés serait en outre une conséquence du grand excès de sulfate de chaux dans les cendres de houille.

Cycadées. — Les cycadées, qui n'habitent plus actuellement que l'Amérique équatoriale et ressemblent aux palmiers par leur tige droite, cylindrique, couronnée d'une touffe de grandes feuilles pennées, sont des plantes à double faisceau ligneux.

C'est à cette famille qu'on rapporte les *Nœggerathia*, dont on trouve beaucoup de feuilles allongées, à nervures parallèles, ressemblant assez à des feuilles d'herbes. C'est aussi à la même famille qu'on attribue certains fruits à coque ligneuse désignés sous le nom de *carpolites*.

Cordaïtes. — Les cordaïtes, dont le type a été reconstitué par M. Grand'Eury, formaient de grands arbres ramifiés seulement au sommet et couverts de feuilles énormes atteignant jusqu'à un mètre de longueur. Leur tige comprenait, comme chez les cycadées, un double faisceau ligneux ; elle avait une large moelle centrale, cannelée en long à son pourtour par la saillie des faisceaux du bois. Les organes reproducteurs se rapprochaient de ceux des conifères. Ces plantes formaient ainsi un groupe de transition tenant à la fois des cycadées et des conifères.

Les feuilles de cordaïtes sont très fréquentes dans l'étage houiller. Elles sont bien conservées, grâce à leur nature coriace et résistante, et ont la forme d'un ruban allongé et spatulé parcouru par de fines stries parallèles (fig. 298). Dans la

partie supérieure de l'étage houiller, il y a des lits de houille qui sont entièrement formés de troncs et de feuilles de cordaïtes.

Fig. 298. — *Cordaïtes brassifolia.*

Fig. 299. — *Walchia hypnoïdes.*

Conifères. — Les conifères, si abondants et si variés dans la nature actuelle, ne comprenaient alors qu'un petit nombre de genres dont le plus fréquent était le *Walchia* (fig. 299), assez analogue à l'*Araucaria* qui orne nos jardins.

Ces végétaux, rares dans les forêts houillères, paraissent avoir formé une variété fibreuse de la houille. Ils se tenaient alors surtout sur les hauteurs, d'où ils descendirent à l'époque permienne pour s'étendre dans les plaines.

Gnétacées. — On rattache à la famille des gnétacées, qui ressemblaient au fusain actuel, le *Calamodendron* qui, ainsi que l'indique son nom, est une sorte de calamite arborescente, mais dont le bois est bien celui des gymnospermes.

Ce genre était muni de racines pivotantes et donnait naissance à des arbres de 30 à 40 mètres. Les tiges étaient droites, élevées, lisses à l'extérieur, mais quelquefois striées de cannelures émoussées. La moelle était volumineuse et peu consistante ; aussi elle a souvent disparu pour être remplacée par des matières minérales, formant un cylindre strié tellement semblable aux calamites qu'on s'est souvent trompé dans la détermination de ces végétaux. Les rameaux étaient

verticillés sur la tige, à l'aisselle des feuilles, et portaient eux-mêmes d'autres feuilles plus petites disposées également en verticilles.

Les *Calamodendron* étaient assez abondants dans les forêts houillères ; pressés les uns contre les autres, ils s'élançaient dans les airs comme des colonnes rigides qui atteignaient jusqu'à 30 et 40 mètres de hauteur. On les retrouve dans la plupart des cas fortement comprimés ; ils ont fourni presque exclusivement la matière de beaucoup de lits de houille.

633. Conditions de la végétation carbonifère. — L'étrangeté des formes des végétaux carbonifères qui, à part les fougères avec quelques équisétacées et lycopodiacées, sont si différents des plantes actuelles, dénote des conditions de milieu tout à fait spéciales. Ces végétaux, à texture lâche et succulente, presque dépourvus de bois, ne pouvaient atteindre la hauteur considérable à laquelle ils parvenaient rapidement que dans une atmosphère saturée d'humidité et sous une température élevée que ne faisait pas varier le jeu des saisons. On ne pourrait guère expliquer autrement l'énorme production de matière organique qui était nécessaire pour former les dépôts houillers. Une lumière diffuse, tamisée à travers un voile de brume à demi transparent, favorisait en outre l'activité de la végétation mieux que ne l'eût fait une clarté trop vive.

L'hypothèse de la concentration graduelle du soleil que nous avons exposée plus haut (n° 582) est bien en harmonie avec ces conditions. Une température uniforme d'environ 20 à 25 degrés régnait sur toute la terre, d'un bout de l'année à l'autre, sans variations notables. Il n'y avait pas en réalité de saisons, comme le montre l'absence de zones concentriques d'accroissement dans les tiges des gymnospermes, ou tout au moins les saisons n'étaient indiquées que par des alternances de calme relatif et de chutes de pluies d'une violence excessive, qui ravinaient le sol et entraînaient les débris végétaux jusqu'aux points où s'opérait la sédimentation (n° 541).

Il faut se représenter les continents de cette époque comme peu élevés au-dessus de l'Océan, avec des rivages coupés par

de vastes lagunes et, à l'intérieur, de grands lacs d'eau douce à contours indécis. C'est sur ces terres basses et mouvantes que se développait la végétation houillère, avec une monotonie que l'on ne retrouve que dans quelques forêts de fougères et d'araucarias de la Nouvelle-Zélande. Ce qui caractérisait surtout cette végétation, ainsi que l'a si bien fait ressortir M. de Saporta dans le *Monde des plantes avant l'apparition de l'homme*, c'était « la profusion plutôt que la richesse, la vigueur plutôt que la variété. » Des arbres à tronc nu, dont la cime était couronnée par un feuillage menu et raide et au-dessous desquels croissaient de grandes et élégantes fougères, composaient presque exclusivement les forêts houillères ; les fleurs n'étaient pas là pour égayer leur sombre verdure, les oiseaux n'y faisaient pas entendre leurs chants ; seuls des insectes venaient se nourrir de leurs feuillages et quelques reptiles se glissaient au travers des débris des feuilles, des rameaux et des branches qui tombaient incessamment sur le sol.

634. Division du système carbonifère en étages. — La première étude méthodique du système carbonifère a été faite en Angleterre. En se bornant aux grandes divisions, les géologues anglais y avaient reconnu la succession suivante à partir du vieux grès rouge :

5. Calcaire magnésien ou *Magnesian limestone.*
4. Nouveau grès rouge ou *New red sandstone.*
3. Couches de houillle ou *Coal measures.*
2. Grès meulier ou *Millstone grit.*
1. Calcaire de montagne ou *Mountain limestone.*
Vieux grès rouge ou *Old red sandstone.*

Le *calcaire de montagne*, *Bergkalk* des Allemands, a été ainsi nommé à cause de son aptitude à constituer des montagnes assez élevées. Le *millstone grit*, qui vient ensuite, est un grès grossier employé à la fabrication des meules ; on lui donne aussi en Allemagne le nom de *flötzleerer Sandstein*, ou grès dépourvu de veines de houille, et en Angleterre celui de *farewel rock* ou *roche d'adieu*, parce que, quand on le rencontre dans les sondages, on peut dire adieu à la houille. C'est

au-dessus que se présente la série des schistes, grès et couches de houille à laquelle on donne la dénomination de *coal measures*, ou de *Steinkohle Formation*. Le tout est couronné par un grès rouge qu'on pourrait confondre avec celui qui se trouve au-dessous du calcaire de montagne, n'étaient sa position stratigraphique et sa faune, et par une assise de calcaire magnésien.

Ces dénominations sont encore usitées dans plusieurs traités de géologie. Mais elles ne correspondent pas partout à la réalité des faits et, dans beaucoup de régions, la constitution lithologique des terrains carbonifères est toute différente de celle qu'elles indiquent. Aussi nous les remplacerons par celles d'*étage anthracifère*, *étage houiller* et *étage permien*, qui sont plus généralement adoptées, le premier étage comprenant l'assise 1 de la série ci-dessus, le second les assises 2 et 3, le troisième les assises 4 et 5.

L'étage anthracifère consiste en calcaires généralement marmoréens, formés en eau profonde, et en dépôts côtiers de sédiments arénacés, dont la texture est presque toujours grossière et qui renferment parfois des couches d'anthracite ou de houille anthraciteuse. Il comprend ainsi deux types, l'un pélagique, l'autre côtier. A cet étage correspond la première phase de la flore carbonifère, marquée par la prédominance des calamites, des *Lepidodendron*, de plusieurs genres de fougères herbacées, notamment du *Sphenopteris*. Les fossiles animaux caractéristiques sont diverses espèces de *Productus* et notamment le *P. semireticulatus*, le *P. Cora*, le *Spirifer glaber*, l'*Athyris lamellosa*.

L'étage houiller, qui se compose de grès et schistes avec intercalation de couches de houille, est le plus riche en débris et empreintes de végétaux. Les *Sigillaria*, abondants au début, tendent à disparaître, de même que les *Lepidodendron;* les *Annularia* et les *Cordaïtes* dominent. La faune est assez pauvre.

L'étage permien est très développé dans le gouvernement de Perm, en Russie, ce qui lui a valu son nom. On l'appelle aussi *étage pénéen* à cause de sa pauvreté en fossiles. On y trouve quelques types spéciaux de plantes, notamment les

Walchia; les conifères en général, qui jusque-là ne couvraient guère que les hauteurs, descendent sur les plages et prennent une grande extension. Les fossiles animaux caractéristiques sont le *Productus horridus*, le *Spirifer undulatus*.

635. Phénomènes éruptifs et orogéniques. — L'activité interne s'est fait sentir dans cette période comme dans les précédentes par des éruptions de roches, des bouleversements de couches, des soulèvements et des affaissements locaux.

Mais tandis que jusqu'à présent les roches éruptives consistaient surtout en roches granitoïdes essentiellement cristallines, qui s'étaient continuées avec les diorites jusqu'au sommet du dévonien, nous voyons apparaître des roches porphyriques, à pâte entièrement compacte ou finement cristalline, ne présentant plus que peu de cristaux nettement spécifiés. Il semble qu'il y ait eu un ralentissement marqué dans la puissance chimique déployée par le foyer interne.

Ces roches porphyriques se sont souvent étendues en nappes que l'on retrouve intercalées dans les dépôts sédimentaires, en connexion avec des filons qui en constituent pour ainsi dire les racines.

Les mouvements violents du sol ont été surtout accentués vers le milieu de l'époque houillère. Il y a eu alors d'importantes dislocations, qui ont couvert le sol de rides nombreuses en plissant fortement les couches.

Ces dislocations ont été nécessairement accompagnées de failles qui, en rejetant les bancs de houille à différents niveaux, créent de sérieuses difficultés pour leur exploitation. Mais elles ont eu par contre, dans bien des cas, des conséquences heureuses, en favorisant la formation des filons métalliques, car c'est dans ces cassures de l'écorce que sont venues souvent se réunir les émanations métallifères.

§ II.

ÉTAGE ANTHRACIFÈRE

636. Belgique. — La Belgique nous offre un excellent type pélagique de terrain anthracifère. Cet étage, superposé en stratification concordante au terrain dévonien, auquel il se lie intimement par une zone de passage contenant un mélange de fossiles appartenant aux deux systèmes dévonien et carbonifère, est placé au-dessous du terrain houiller. Il a été divisé par André Dumont en trois sous-étages :

3. Calcaire à *Productus*.
2. Dolomie.
1. Calcaire à crinoïdes.

On donne souvent à tout cet ensemble le nom de *calcaire carbonifère*. Il affleure sur une bande étroite qui traverse la Belgique et qui, interrompue par la vallée du Rhin, se retrouve en Allemagne où elle occupe dans la Westphalie le grand bassin de la Ruhr ; au-delà, le calcaire fait place à une série de grès et de grauwackes avec quelques veines à peine exploitables de houille anthraciteuse, désignée par l'expression de *Culm*. Cette formation marque de ce côté la limite d'une vaste mer qui s'étendait dans le nord de l'Europe et qui devait couvrir aussi dans les contrées polaires tout l'espace occupé précédemment par le continent dévonien. Le calcaire carbonifère, avec ses *Productus* et ses *Spirifer*, a été en effet reconnu au Spitzberg et à l'extrémité septentrionale de la terre de Grinnel par 82° 40′ de latitude nord.

L'étage anthracifère a en Belgique une épaisseur d'environ 800 mètres. Le calcaire y est ordinairement en bancs bien distincts, de puissance variable, séparés quelquefois par un peu de schiste gris ou noir, ou par des enduits anthraciteux, et rarement par des lits d'anthracite ou de houille très maigre. La

dolomie s'y montre à différents niveaux, mais elle est surtout concentrée dans le sous étage moyen. On trouve également à diverses hauteurs des rognons aplatis que les ouvriers appellent *clous* ou *flins*, ou des bancs de concrétions siliceuses désignées sous le nom de *phtanites* (n° 606).

Le sous-étage inférieur débute par une assise de calcaire bleu foncé ou noirâtre, rempli de fragments d'encrines qui le rendent sublamellaire. C'est dans cette assise qu'on exploite le petit granite de Soignies et des Ecaussines (n° 484) ; les couches, qui ont conservé une position à peu près horizontale ne sont pas brisées comme le sont ordinairement celles qui ont été relevées et plissées et on peut en extraire des blocs de grandes dimensions. Le calcaire est quelquefois assez argileux pour donner une chaux hydraulique de très bonne qualité, comme dans les environs de Tournai. Les principaux fossiles de ce sous-étage, que l'on désigne souvent sous le nom de *calcaire de Tournai*, à cause de son développement près de cette ville, sont surtout des spirifères, avec *Phillipsia gemmulifera*, *Productus semireticulatus*, etc.

Le deuxième sous-étage est caractérisé par l'abondance d'une dolomie, plutôt grenue que cristalline, gris bleuâtre, parfois celluleuse, à stratification peu distincte. Il est souvent traversé par des fissures perpendiculaires aux couches, ce qui donne lieu à des escarpements verticaux ruiniformes remarquables par leurs formes bizarres, dont on voit de nombreux exemples dans les rochers pittoresques de la vallée de la Meuse entre Namur et Huy. La cohérence de cette roche est très variable ; tantôt elle est assez tenace pour qu'on puisse en faire des pavés, tantôt elle se réduit facilement en sable et on l'emploie alors pour l'amendement des terres sous le nom de *môle*[1]. Les fossiles y sont assez rares, mais ils atteignent une plus forte taille que dans les autres assises ; M. Dupont cite, entre autres, de grands évomphales.

Le sous-étage du *calcaire à Productus*, dit aussi *calcaire de Visé*, est principalement composé d'un calcaire à cassure conchoïde, d'un gris bleuâtre passant au gris de cendre, au blanc

1. Corruption du mot marne.

et au noir, prenant quelquefois la structure bréchiforme ; tel est celui que l'on exploite comme marbre à Gérin. Il y a aussi à Namur des couches susceptibles d'être employées comme marbre noir et qui renferment des noyaux de calcaire cristallin blanc accompagnés de cristaux de fluorine violette. Ce sous-étage est très fossilifère ; les espèces les plus communes sont le *Productus giganteus* et le *P. Cora*.

637. Bas-Boulonnais. — Dans le nord de la France, le calcaire carbonifère, qui se montre à la surface du sol en Belgique, disparaît sous des terrains plus récents pour affleurer de nouveau sur une petite étendue dans le Bas-Boulonnais, grâce à un soulèvement.

Là il repose sur la partie supérieure du système dévonien et il consiste en puissantes assises de calcaire, avec dolomie à la base, dont l'épaisseur totale est de 330 mètres. Ce calcaire exhale, quand on le casse, une odeur fétide, d'où le nom de *stinkal*[1] sous lequel il est connu dans le pays. Il est généralement gris clair et il peut présenter des marbrures plus ou moins prononcées ; quelquefois il est noirâtre. On y rencontre souvent des lits de phtanite noir.

Les fossiles les plus fréquents sont des *Productus* qui ont permis de subdiviser l'étage en assises :

4. Assise à *Productus giganteus*.
3. Assise à *Productus undatus* et *Spirifer glaber*.
2. Assise à *Productus Cora*.
1. Dolomie du Hure.

Les trois assises supérieures correspondent au calcaire de Visé. Le calcaire de Tournai fait défaut.

De nombreuses carrières sont ouvertes dans le carbonifère du Bas-Boulonnais pour l'exploitation des pierres de taille et des marbres. L'assise à *Productus Cora*, ou *calcaire du Haut-Banc*, fournit des marbres gris rougeâtre ou violets, dits *Henriette* et *Caroline*. Le calcaire à *Productus undatus* donne le *marbre Napoléon*, de coloration grisâtre, qui a été employé pour la construction de la colonne de la Grande Armée à Bou-

1. De l'allemand *Stinkkalk*, calcaire puant.

logne. Enfin on trouve dans la dernière assise, qui est noire à Hardinghen, quelquefois semi-cristalline par suite de l'abondance de tiges d'encrines, un marbre gris à veines rouges dit *Joinville*.

Au milieu de ces calcaires se trouve un ensemble de schistes plus ou moins micacés, de grès, et de houille que l'on exploite à Hardinghen (Ferques). On a cru pendant longtemps que ces roches étaient intercalées dans l'étage anthracifère dont elles

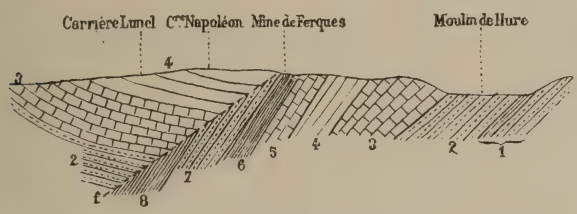


Fig. 300. — Coupe du calcaire carbonifère à Ferques. — 1, dévonien supérieur ; 2, dolomie du Hure ; 3, calcaire du Haut-Banc à *Productus Cora* ; 4, calcaire Napoléon à *Productus undatus* ; 5, calcaire à *Productus giganteus* ; 6, schiste et houille ; 7, grès ; 8, schiste et houille ; f, faille. — Les assises 6, 7 et 8 appartiennent à l'étage houiller.

feraient partie. Mais M. Gosselet a démontré qu'elles représentent l'étage houiller et que c'est par suite d'un accident stratigraphique qu'elles sont recouvertes par le calcaire carbonifère (fig. 300).

638. Roannais, Massif armoricain, Vosges. — Le terrain anthracifère forme encore en France quelques petits lambeaux de peu d'importance.

Dans le Roannais, il comprend à sa base une grauwacke renfermant des lentilles de calcaire noir, bitumineux, avec *Productus giganteus*, *P. semireticulatus*, *Euomphalus pentangulatus*, etc. Au-dessus vient un poudingue à galets de quartzite, de calcaire et de porphyre granitoïde, qui est surmonté par un grès formé presque entièrement d'éléments porphyriques. Au milieu de ce grès sont intercalées des veines d'anthracite de 1 à 2 mètres d'épaisseur, se renflant parfois jusqu'à 8 et 10 mètres.

Au-dessus du dévonien, on observe dans les environs de

Sablé (Sarthe) des grès et schistes avec anthracite, auxquels sont superposés des calcaires renfermant de nombreux fossiles et surtout des *Productus*. Ces calcaires sont presque toujours compacts et d'un beau noir ; ils contiennent au sommet des bancs spathiques exploités comme marbres. Puis viennent de nouveaux schistes, avec anthracite exploitée à Poillé (Sarthe), présentant des restes de plantes ayant de grandes affinités avec la flore houillère.

Les gisements de charbon de la Basse-Loire, qui forment une longue traînée alignée du sud-est à l'ouest-nord-ouest dans une dépression des terrains anciens de l'Armorique, sont rattachés à l'étage anthracifère. Les couches d'anthracite sont intercalées dans des schistes et des grès, et au contact du combustible on observe constamment une roche d'un gris verdâtre clair, appelée *pierre carrée* dans le pays, à cause de la forme régulière suivant laquelle elle se casse, et qui paraît être un tuf d'origine porphyrique.

C'est pour l'exploitation de ce bassin anthracifère que Triger imagina, en 1841, son procédé de fonçage des puits par l'air comprimé. Il eut l'idée hardie de creuser un puits dans le lit même de la Loire et après avoir traversé, en moins de trois mois, 20 mètres d'alluvions et de sables mobiles, il établit dans le grès, à une profondeur de 25 mètres, une jonction tellement solide que depuis lors aucune infiltration d'eau ne s'est produite.

§ III.

ÉTAGE HOUILLER.

639. Division en deux sous-étages. — L'étude de la végétation, qui s'est modifiée incessamment pendant la période carbonifère, a permis de diviser l'étage houiller en deux sous-étages correspondant à deux phases distinctes de la flore.

Ces deux phases sont caractérisées plutôt par la prépondérance numérique de certains genres que par leur apparition ; cela montre que ce n'est pas à l'aide de quelques échantillons isolés que l'on doit apprécier l'âge relatif d'une flore. La première phase se distingue par l'abondance des *Sigillaria* et des *Nevropteris*, associés aux *Lepidodendron* et aux *Annularia*. Dans la seconde phase, les *Cordaites*, les *Calamodendron*, les fougères arborescentes comme les *Pecopteris*, l'emportent ; les *Nevropteris* deviennent rares et les *Lepidodendron* disparaissent presque complètement.

L'étude stratigraphique du terrain houiller conduit à la même division. Le sous-étage inférieur s'était à peine déposé qu'il a été affecté par de puissants refoulements qui l'ont fortement plissé et qui ont en même temps créé dans les massifs anciens des dépressions plus ou moins profondes, dans lesquelles se sont accumulées les couches du sous-étage supérieur. Ce dernier a été lui-même bouleversé par de nouvelles dislocations, dont la plupart ont eu lieu à l'époque permienne.

Il résulte de là qu'on peut classer les bassins houillers en deux catégories bien tranchées. La première comprend les bassins qui ont succédé directement aux mers de l'époque anthracifère et dont les couches sont presque toujours étroitement liées au calcaire carbonifère, avec lequel elles sont en concordance de stratification ; ce sont des dépôts côtiers, qui se présentent plutôt en bandes qu'en bassins fermés de tous côtés et qui occupent souvent des étendues considérables. Telle est la grande zone houillère qui traverse toute l'Europe de l'Angleterre à la Russie, en passant par le nord de la France, la Belgique, la Westphalie.

A la seconde catégorie appartiennent les dépôts plus étroitement circonscrits du centre de la France, qui remplissent des cuvettes ou des vallées des terrains anciens. Ils ont bien tous les caractères des formations lacustres.

Cette distinction a une grande importance au point de vue industriel. Suivant qu'il s'agit d'un bassin appartenant à l'une ou à l'autre des deux catégories, on ne doit pas se laisser guider par les mêmes idées pour rechercher son prolongement sous des terrains plus récents.

640. Constitution pétrographique de l'étage houiller. — Le terrain houiller est remarquable par le faciès particulier des matériaux qui entrent dans sa composition. Ce sont des roches détritiques telles que des poudingues à éléments de grosseurs variables, des grès plus ou moins fins, des schistes, des argiles schisteuses, avec intercalation de houille et de minerai de fer carbonaté. Le calcaire y manque à peu près complètement, ce qui tient à ce que nous ne connaissons guère ce terrain que sous son régime continental et sous son régime côtier et que les bassins pélagiques, dans lesquels ont pu se déposer les roches calcaires, sont presque partout enfouis sous des terrains plus récents.

Poudingues et grès. — Le grès houiller est formé par les éléments quartzeux, feldspathiques et micacés des roches anciennes, agglutinés par un ciment argileux. Quelquefois il est rendu schisteux par la présence de lamelles de mica disposées parallèlement à la stratification. Cette roche, la plus abondante du terrain houiller, passe dans sa partie inférieure à des poudingues.

Les poudingues se rencontrent à la base de l'étage ; on y trouve des galets de granite, de gneiss, de micaschiste, de quartz. Ils alternent parfois avec les grès, et alors leurs galets sont d'un très petit volume.

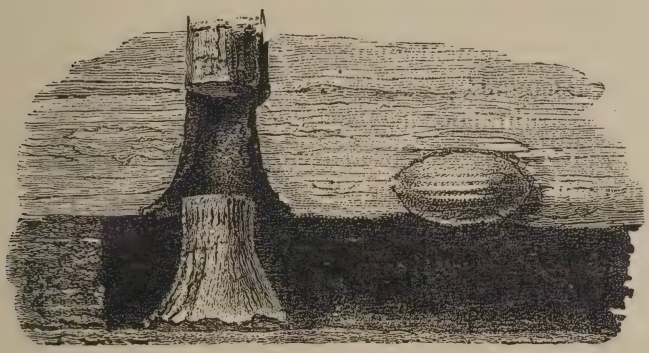
On a remarqué que les poudingues des bassins houillers de la première catégorie sont rarement composés de galets de plus d'un décimètre de diamètre ; de plus, ces galets sont presque uniquement siliceux et proviennent rarement de roches du voisinage. Au contraire, dans les bassins continentaux de la seconde catégorie, les poudingues sont beaucoup plus grossiers et on y reconnaît les éléments des formations géologiques avoisinantes ; ce qui montre bien que le phénomène qui a présidé à leur formation n'avait pas le même caractère de généralité que pour les dépôts précédents. Ces galets, qui ont souvent d'énormes dimensions, n'ont pas dû être amenés de très loin ; à Epinac (Saône-et-Loire), un puits creusé pour l'exploitation de la houille a traversé l'un d'eux sur plusieurs mètres de hauteur.

Le grès houiller est souvent d'un bon emploi dans les constructions (n° 466).

Schistes et argiles. — Le schiste et l'argile schisteuse, qui passent graduellement l'un à l'autre, sont presque toujours noirâtres, souvent micacés, à texture grossière. Ils sont ordinairement indélayables dans l'eau et très chargés de silice. C'est dans ces roches qu'on rencontre les plus belles empreintes végétales. Parfois l'argile est plastique, en Angleterre par exemple.

Minerai de fer. — Le terrain houiller contient parfois du minerai de fer carbonaté, tantôt en rognons disséminés dans l'argile schisteuse, tantôt en couches peu épaisses intercalées dans le grès. Ce dernier minerai est moins riche que l'autre et presque toujours de qualité inférieure.

Les *sphérosidérites* qui se trouvent fréquemment au toit des



Tronc de sigillaire Sphérosidérite
Fig. 301. — Cloches des mineurs (d'après M. Briart).

couches de houille (fig. 301) sont formées de fer carbonaté qui a englobé des corps organisés. Comme elles se détachent brusquement, elles peuvent amener de graves accidents, de même d'ailleurs que les troncs d'arbres qui traversent l'étage houiller. Les vides qui en résultent sont désignés par les mineurs sous le nom de *cloches*.

Le fer carbonaté houiller n'est pas commun en France ; on le trouve par exemple dans les bassins de la Loire et de l'Aveyron. En Angleterre au contraire, le terrain houiller en est abondamment pourvu et c'est là l'une des causes de l'importance qu'a acquise la métallurgie anglaise.

Houille. — La houille se présente en couches très variables dans leur épaisseur et leur continuité. Elles sont intercalées indistinctement dans les strates des argiles schisteuses et des grès houillers, dont elles suivent tous les mouvements ; dans le dernier cas, elles sont presque toujours séparées du grès par de minces lits d'argile qui en forment le toit et le mur. On ne trouve pas de houille exploitable dans les poudingues ; le charbon n'y existe qu'en veinules. Les bancs de houille peuvent se dédoubler, se confondre et quelquefois cesser brusquement.

Le nombre des couches est également très variable dans les divers bassins houillers. On remarque cependant que les couches minces et régulières sont assez ordinairement continues et multipliées, tandis que les couches puissantes sont limitées dans leur étendue, irrégulières dans leur épaisseur, et qu'il n'y en a généralement qu'un petit nombre superposées dans le même gisement.

Ainsi à Cardiff dans le Pays de Galles, on connaît 60 couches ayant ensemble 25 mètres, qui s'étendent avec une grande régularité sur près de 2.400 kilomètres carrés. Dans le bassin du Creusot (Saône-et-Loire) au contraire, on exploite une couche dont la puissance moyenne est de 12 mètres et qui, dans les renflements, atteint jusqu'à 40 mètres du toit au mur.

La houille a été déposée dans une position sensiblement horizontale ou peu inclinée. Mais on la retrouve rarement avec cette allure, car tout l'ensemble du terrain houiller a été soumis à de puissantes dislocations qui ont eu quelquefois pour résultat de replier les couches sur elles-mêmes, de telle sorte qu'un puits vertical peut traverser plusieurs fois le même banc de combustible.

641. Répartition géographique du terrain houiller. — La distribution géographique de l'étage houiller a une importance considérable au point de vue économique, puisqu'il fournit la plus grande partie du combustible que consomme l'industrie. Cet étage n'affleure généralement pas sur de très grandes étendues, et, sauf dans quelques rares contrées comme

la Russie où se montrent des sédiments franchement marins, nous ne pouvons guère l'étudier que sous ses faciès côtiers et continentaux. Nous allons passer en revue les principales régions du globe dans lesquelles on l'observe.

France. — En France le terrain houiller a été reconnu sur 3.500 kilomètres carrés, dont une partie est masquée par des couches plus récentes, soit environ $\frac{1}{150}$ de la surface totale du pays. Mais il est tellement morcelé qu'il ne se subdivise pas en moins d'une soixantaine de bassins distincts, produisant ensemble, en nombre rond, 19.500.000 tonnes de combustible minéral (anthracite comprise) par an. Nous reviendrons plus loin sur la distribution de ces bassins dans le sol français.

Grande-Bretagne. — La Grande-Bretagne est la contrée d'Europe qui a été la plus favorisée par la nature sous le rapport de la richesse houillère. La surface qu'y occupe le terrain houiller, déduction faite des parties presque stériles, est 5 fois plus considérable qu'en France et représente $\frac{1}{18}$ de la superficie totale du pays. L'exploitation de la houille y est très active, et elle ne fournit pas moins de 163.000 tonnes par an, soit 40 0/0 de toute la production du monde entier.

Les bassins houillers sont en outre répartis d'une manière bien plus avantageuse qu'en France, ce qui n'est pas une des moindres causes de la prospérité de l'industrie anglaise. Ils forment quatre groupes principaux :

1° Les grands bassins du sud de l'Ecosse, qui s'étendent sur une grande partie de l'espace compris entre Edimbourg, Glascow et Dumbarton, et aboutissent aux deux mers ;

2° Le bassin de Newcastle, dans les comtés de Durham et de Northumberland, qui touche à la mer du Nord ;

3° Les bassins du Centre, tels que ceux de Derby, de Sheffield, de Birmingham, de Dudley, traversés par de nombreux canaux et chemins de fer qui leur permettent d'envoyer leurs produits jusqu'à Londres ; ce groupe est le plus vaste de tous ;

4° Le bassin du Pays de Galles, sur le Canal de Bristol, remarquable par la variété et l'excellence de ses produits.

Toutefois il convient d'observer que tous ces bassins n'appartiennent pas à l'étage houiller, car dans le nord et surtout en Ecosse, on trouve aussi de la houille au milieu du millstone gris et même jusque dans le calcaire carbonifère. Les dépôts houillers reposent sur les couches dévoniennes ou sur les couches siluriennes, et se rapprochent davantage par leurs caractères du grand bassin de la Belgique et du nord de la France que des lambeaux tourmentés du Plateau Central de la France.

Dans la plupart des districts anglais, les lits de houille ont une puissance faible, atteignant rarement 2 mètres. Cependant le groupe du Centre fait exception, et dans le Staffordshire la principale couche a 9 mètres. Le nombre total et la puissance cumulée de toutes les couches varient avec les régions et ne sont même pas encore rigoureusemennt connus. Mais il est rare que cette puissance s'élève au-delà de 30 mètres, tandis qu'en France elle atteint le double dans plusieurs bassins, en sorte que ce dernier pays regagne jusqu'à un certain point en hauteur ce qui lui manque en étendue.

En outre du combustible minéral, le terrain houiller de la Grande-Bretagne renferme souvent du minerai de fer ainsi que de l'argile réfractaire qui, dans le district de Stourbridge, est de qualité tout à fait supérieure. Toutes les variétés de houille et d'anthracite se rencontrent d'ailleurs dans les bassins anglais ; mais ces charbons sont en général moins friables et moins chargés de matières terreuses que les charbons français ; ils ont de plus l'avantage de laisser des cendres infusibles qui ne forment pas de mâchefer. Par contre les houilles sèches à longue flamme, d'un pouvoir calorifique faible, sont plus communes en Angleterre qu'en France.

Irlande. — En Irlande il n'y a que de petits gisements isolés, qui paraissent représenter les restes de vastes dépôts, presque entièrement dénudés aujourd'hui, en sorte que la nature a repris à cette contrée ce qu'elle lui avait d'abord donné si libéralement. Mais il ne faut pas oublier qu'elle possède de vastes tourbières.

Belgique. — Le terrain houiller représente en Belgique $\frac{1}{24}$ de la superficie totale du pays ; c'est une fraction de la grande

bande houillère qui s'étend du N.-E au S.-O. en passant par Liège, Namur, Charleroi et Mons, pour se prolonger en France par le bassin de Valenciennes, et qui repose en stratification concordante sur l'étage anthracifère et le terrain dévonien. On y trouve les quatre espèces de houilles, maigre, demi-grasse, grasse proprement dite et grasse à longue flamme. La production totale est de 18 millions de tonnes par an.

C'est en Belgique qu'ont été creusés les puits d'exploitation les plus profonds. Celui des Viviers-Réunis, près de Gilly, dépasse 1.000 mètres.

Allemagne. — Sur le prolongement oriental de la bande houillère belge on trouve les bassins très tourmentés d'Eschweiller et d'Aix-la-Chapelle, puis, au-delà du Rhin, le grand bassin de la Ruhr en Westphalie, qui est presque entièrement recouvert en stratification discordante par la craie sur laquelle sont bâtis Bochum, Essen et Dortmund. C'est un gisement très riche, qui compte 132 couches dont 74 sont exploitables et représentent 74 mètres de houille ; on évalue à plus de 40 milliards de tonnes le poids du combustible qu'on peut en extraire.

La Prusse possède encore un autre bassin qui est peut-être le plus riche du continent : c'est celui de Sarrebrück, situé sur la rive gauche du Rhin au sud de la chaîne du Hundsrück. Le terrain houiller y a une puissance de 3.300 mètres ; il repose en stratification discordante sur les couches dévoniennes et il est recouvert en concordance par les couches permiennes, auxquelles il se lie intimement. Suivant toute probabilité, il doit se prolonger en France sous le grès des Vosges. On a trouvé jusqu'ici 145 lits de houille non exploitables et 88 exploitables, de $0^m,40$ à 4 mètres d'épaisseur, mesurant en tout 127 mètres.

En Saxe, il y a des bassins, généralement peu fournis en charbon, qui se relient à celui de la Westphalie par les lambeaux des environs de Halle.

A l'est de l'Allemagne, dans la haute et la basse Silésie, le terrain houiller est très développé. Celui de la haute Silésie, qui se prolonge en Pologne et en Autriche, occupe une grande surface ; il renferme jusqu'à 154 mètres de puissance totale de

houille, qui se répartissent en 104 couches ; l'une de ces couches à elle seule atteint 16 mètres.

L'empire allemand fournit par an à la consommation 72 millions de tonnes, y compris des lignites. Au point de vue du développement de la production, c'est le bassin de la Ruhr qui tient la tête, en raison du bas prix de l'exploitation et de sa situation éminemment favorable au bon marché des transports.

Autriche. — En dehors du prolongement du bassin de la haute Silésie, l'Autriche possède, notamment en Bohême, des gisements houillers dont l'exploitation a pris dans ces derniers temps une grande extension. La production annuelle des différents États de cet empire dépasse 18.800.000 tonnes de combustible minéral ; mais il faut dire que plus de la moitié est du lignite.

Russie. — Le système carbonifère a un immense développement dans l'empire russe, car bien qu'il soit recouvert en grande partie par du permien et du jurassique, il occupe plus du tiers de sa superficie. Mais l'étage houiller est beaucoup plus limité ; on le constate surtout dans le Donetz, sous forme d'un bassin isolé de 21.600 kilomètres carrés où l'on a déjà reconnu 225 couches de charbon. On est encore loin d'ailleurs de connaître toute la richesse de ce magnifique gisement, qui renferme certainement plusieurs centaines de milliards de tonnes de houilles de toutes sortes, de très bonne qualité.

En dehors du Donetz, les principaux gisements exploitables de la Russie se trouvent dans l'étage anthracifère ; tel est le cas pour la houille du versant occidental de l'Oural.

L'exploitation est encore fort peu avancée, puisque la Russie ne produit pas plus de 4 millions de tonnes par an.

Espagne et Portugal. — L'Espagne et le Portugal possèdent des amas assez considérables de houille sur leurs frontières septentrionales, dans les Asturies. Il en existe aussi à Belmez et à Villa-Nueva près de Cordoue. La production y atteint à peine un million de tonnes, par suite de l'imperfection des moyens de transport.

Autres pays d'Europe. — Les autres pays d'Europe sont à peu près dépourvus de houille et n'y suppléent qu'imparfaitement par le lignite. En Italie, le terrain houiller est connu seu-

lement dans la Toscane et la Sardaigne, où il se compose de schistes à végétaux, de conglomérats et de veines minces de charbon, traversés par des porphyres. Dans la Turquie, ce terrain a été reconnu le long de la mer de Marmara et de la mer Noire. En Suède, on n'en constate qu'un petit lambeau près de Gothembourg.

On a découvert au Spitzberg des dépôts puissants, dont l'étude est très intéressante en ce qu'ils renferment la même flore que ceux des régions rapprochées des tropiques.

Asie. — Le terrain houiller s'étend en Chine sur une surface énorme, qu'on évalue à 520.000 kilomètres carrés et qui est ainsi trente fois plus considérable que celle qu'il occupe en Angleterre ; ces gisements, qui pourraient alimenter le monde entier pendant de nombreuses années, sont à peine exploités. La houille ne se trouve pas seulement, paraît-il, dans le carbonifère ; on la rencontre également dans le silurien et le dévonien, de même que dans le permien et le trias. Il est à remarquer que de nombreuses éruptions de porphyre se sont fait jour avant la période carbonifère.

Le Japon, qui possède aussi de beaux gisements, n'en tire pas un meilleur parti que l'empire chinois.

Dans l'Inde, les principaux dépôts de combustible minéral s'étendent à l'ouest de Calcutta.

D'une manière générale, les régions asiatiques sont assez riches en lignite, qu'on a pris souvent pour de la houille.

Afrique. — En Afrique on n'a guère signalé jusqu'à présent la houille que dans le bassin du Zambèze, vers 17° de latitude ; il paraît y avoir là une réserve importante qui sera sans doute un jour utilisée par la navigation. D'après la flore, les couches du Zambèze correspondraient au sous-étage houiller supérieur d'Europe.

Amérique du Nord. — Le terrain houiller a une extension considérable dans l'Amérique du Nord. Il recouvre six vastes territoires, dans chacun desquels il a été largement entamé par des dénudations et des bouleversements postérieurs à sa formation :

1° Le grand dépôt des Apalaches ou des Alleghanys, qui s'appuie sur la pente occidentale des montagnes paléozoïques

de ce nom et s'étend avec une superficie de plus de 35.000 kilomètres carrés dans l'Ohio, la Pensylvanie, la Virginie, le Kentucky, le Tennessée et l'Alabama. Dans la partie centrale de la Pensylvanie il fournit exclusivement de l'anthracite ; ailleurs il donne du charbon bitumineux. La puissance réunie des couches de combustible minéral est de 40 mètres.

2° Le groupe de l'Illinois et du Missouri, presque aussi étendu que le précédent, dans lequel il y a toutefois des parties stériles.

3° Le groupe du Michigan, qui a à peu près la même extension que le premier, mais qui paraît peu riche et ressemble sous ce rapport aux bassins de l'Irlande, appauvris par de grandes érosions. On rencontre souvent dans cette formation des dépôts de gypse.

4° Le groupe du Texas, d'une étendue de 7.800 kilomètres carrés, qui semble être le prolongement du second.

5° Le groupe de Rhode-Island.

6° Celui de la Nouvelle-Ecosse et du Nouveau-Brunswick, dans lequel on connaît 76 lits de houille, dont 7 seulement sont exploitables.

La production de ces bassins houillers se développe rapidement. En 1864 elle ne dépassait guère 10 millions de tonnes par an, et elle est actuellement de plus de 100 millions.

Amérique du Sud. — Le terrain houiller n'est pas encore bien connu dans l'Amérique du Sud. On l'a signalé au Vénézuéla, au Brésil, au Chili.

Océanie. — Le terrain houiller a une grande importance en Australie, surtout dans la Nouvelle-Galles du Sud ; la production annuelle y atteint déjà le chiffre de 3 millions de tonnes. La Nouvelle-Zélande est également riche en houille, et elle en produit annuellement près de 500.000 tonnes.

642. Bassins houillers de France. — Les bassins houiller de France peuvent, d'après leur position géographique, se diviser en cinq groupes qui concordent bien avec les fonctions commerciales que ces bassins sont appelés à remplir : le groupe du Nord, le groupe de l'Est, le groupe de l'Ouest, le groupe du Centre et le groupe du Midi.

Groupe du Nord. — Le groupe du Nord comprend les houillères des départements du Nord et du Pas-de-Calais qui appartiennent au *bassin de Valenciennes*, partie de la grande bande houillère qui traverse l'Allemagne, la Belgique et la France. Ce bassin, qui est de beaucoup le plus important, puisqu'il donne à lui seul la moitié de la production de toute la France, est masqué sur presque toute son étendue par le terrain crétacé, et ce n'est que dans le Boulonnais, près d'Hardinghen, qu'on voit affleurer le terrain houiller. Nous le prendrons comme type du sous-étage inférieur et nous l'étudierons tout-à-l'heure avec quelques détails.

Groupe de l'Est. — Le bassin le plus important de ce groupe est celui de *Ronchamp* (Haute-Saône). Appuyé sur les derniers versants méridionaux des Vosges, il n'est indiqué à la surface que par un étroit affleurement de grès et de schistes houillers, d'une cinquantaine de mètres d'épaisseur, qui s'enfoncent rapidement sous les grès rouges permiens. Ses couches se prolongent peut-être sous les terrains secondaires pour se raccorder avec celles du bassin de Sarrebrück dans la Prusse rhénane. On y exploite trois veines de houille, dont l'épaisseur totale peut atteindre 9 mètres, mais qui sont souvent amincies par des compressions postérieures à leur formation.

Il y a encore quelques petits lambeaux disséminés dans les Vosges, mais ils sont inexploitables.

On peut rattacher au groupe de l'Est les anthracites des Alpes occidentales, qui, d'après leur flore, appartiennent bien à la partie supérieure de l'étage houiller. Elles ont déterminé l'ouverture de nombreuses mines dans le Dauphiné, et en Savoie, dans la Maurienne, la Tarantaise, le Chablais et le Faucigny. Les mines du Dauphiné, qui exploitent le *bassin du Drac* ou de *la Mure* (Isère), sont les seules qui aient une réelle importance.

Le bassin du Drac est remarquable par la puissance et la continuité de ses veines de charbon. La grande couche a une épaisseur de 6 à 12 mètres ; les autres couches exploitées, au nombre de 2 à 4, ont de 0 m. 60 à 2 mètres. Leurs allures sont accidentées par de forts plissements, de manière à former une série de V, comme dans le bassin de Valenciennes et la plupart des bassins du Centre.

Groupe de l'Ouest. — L'Ouest est la région de France la moins riche en combustible minéral. On n'y trouve guère que des charbons maigres, qui se sont déposés dans de petites dépressions sur les bords du massif armoricain et que l'on exploite surtout pour la fabrication de la chaux.

Dans la Vendée, il y a un bassin étroit et allongé, dont les couches, fortement inclinées, sont appuyées contre le terrain primitif. Il commence au sud par les mines de *Saint-Laurs* et *Faymoreau* et se continue jusqu'à *Vouvant*, où il disparaît sous les calcaires jurassiques pour affleurer de nouveau près de *Chantonnay*. Les couches de Saint-Laurs appartiennent à l'étage anthracifère; celle de Faymoreau et de Chantonnay correspondent à la base de l'étage houiller.

Dans le Maine, nous citerons le petit *bassin de Saint-Pierre-la-Cour*, près de Laval, qui renferme plusieurs couches minces de houille bitumineuse et que l'on classe dans le sous-étage houiller supérieur; les gisements anthraciteux de Montigné, Poillé, Sablé, etc., qui font partie de l'étage anthracifère.

Le *bassin de la Basse-Loire*, qui affleure dans le lit même de la Loire, appartient aussi, comme nous l'avons vu plus haut (n° 638), à l'étage anthracifère.

Enfin en Normandie, près de Bayeux, on exploitait encore, il y a quelques années, une couche de houille de $1^{m},30$ d'épaisseur dans le *bassin houiller de Littry*, qui se prolonge à l'ouest par celui *du Plessis*, et qui représente l'horizon le plus élevé de l'étage houiller.

Groupe du Centre. — Le groupe du Centre, limité au sud par une ligne passant par Aurillac et Valence, contient un grand nombre de bassins dispersés sur le littoral du Plateau Central, vers le contact des terrains schisteux et des terrains secondaires, ou dans les vallées qui sillonnent sa surface, et appartenant presque tous à la partie supérieure de l'étage houiller. On y trouve souvent des couches puissantes de 10, 15, 20 mètres et même davantage, dont les affleurements ont été autrefois attaqués par des travaux à ciel ouvert et qu'on ne peut plus exploiter maintenant que souterrainement. Ces couches n'ont pas toujours la continuité désirable ; elles sont

sujettes à des étranglements et à des renflements qu'expliquent les compressions inégales résultant des mouvements latéraux du sol.

Fig. 302. — Carte des gisements houillers du Plateau Central (d'après M. de Lapparent).— 1, terrain primitif; 2, terrain houiller; 3, terrains secondaire et tertiaire.

Quand on aborde le Plateau Central par sa pointe N.-E. (fig. 302), le premier bassin de quelque importance que l'on rencontre est celui d'*Autun* (Saône-et-Loire), dont la surface plane contraste avec l'encaissement montagneux qui le limite de tous côtés. Il comprend deux faisceaux : le faisceau inférieur, de 50 à 100 m. d'épaisseur, composé de grès et de schis-

tes avec couches de houille, exploité à Epinac ; le faisceau supérieur, épais de plus de 600 mètres, formé de puissantes assises de grès et de poudingues avec deux petites couches de houille dans le haut, que l'on exploite au Grand-Moloy. Au-dessus vient le permien inférieur.

Le petit *bassin de Sincey-lès-Rouvray* (Côte-d'Or), dont les couches sont très tourmentées, et qui est exploité sur une faible échelle, est également recouvert par le terrain permien.

Le *bassin du Creusot et de Blanzy* (Saône et-Loire) est très étendu et sa forme est assez nettement dessinée par les montagnes granitiques qui dominent ses affleurements latéraux. On a reconnu sur sa lisière du sud-est, où sont ouvertes les mines de Montchanin, Blanzy, Montceau, plus de 50 mètres de puissance de houille, répartis en une dizaine de couches ; on exploite surtout les deux grandes couches de la partie supérieure, dont l'épaisseur varie de 8 à 20 mètres. Sur la lisière opposée, la veine exploitée au Creusot semble suivre la configuration du sol en s'appuyant sur le granite, puis elle descend presque verticalement pour s'étendre ensuite en une nappe ondulée dont l'épaisseur atteint 15 et même 30 mètres.

Il est permis de penser que les veines de ces deux lisières se réunissent par une masse importante de houille, située à une grande profondeur par suite de l'effondrement de toute la partie centrale du bassin entre deux grandes failles que l'on observe au Creusot et à Blanzy.

Le *bassin de Bert* (Allier), qui s'appuie au sud sur le granite, est recouvert sur le reste de son pourtour par du terrain tertiaire. On y exploite deux couches de houille sèche à longue flamme dont la puissance, assez variable, est en moyenne de $1^{m}10$. D'après sa flore, ce bassin paraît correspondre à la base de l'étage permien et ce serait ainsi le plus récent de tous ceux du Plateau Central.

Près de *la Chapelle-sous-Dun* (Saône-et-Loire), le terrain houiller comprend quatre couches de houille, dont deux, d'une épaisseur moyenne de $3^{m}40$, sont exploitées.

Dans *le Roannais* (Loire, Rhône), le terrain anthracifère, assez développé, renferme à sa base, comme nous l'avons vu plus haut, des veines d'anthracite présentant le mode de gisement dit *en chapelet*. L'exploitation y est fort peu active.

A l'est et au sud de ce bassin, nous mentionnerons les deux petits *bassins de Saint-Paul* et de *Sainte-Foy-l'Argentière* (Rhône), dont le dernier, appuyé sur les gneiss et les micaschistes de la vallée de la Brevenne, est seul exploité.

Si nous continuons à nous diriger vers le sud, nous rencontrons le *bassin de Saint-Étienne et de Rive-de-Gier*, le plus important de France après celui de Valenciennes, que nous prendrons pour type du sous-étage houiller supérieur. Le petit *bassin de Communay* (Isère), près de son extrémité N.-E., paraît être sur son prolongement.

Au sud-ouest de Saint Étienne, se présente le *bassin de Langeac* (Haute-Loire), isolé au milieu des terrains schisteux et granitiques, qui se signale par cette particularité remarquable qu'un énorme fragment de 300 mètres de côté, détaché des roches encaissantes, est tombé sur les dépôts houillers et les a recouverts, de sorte que sur une surface de 7 à 8 hectares on exploite la houille sous le granite.

Le *bassin de Brassac*, situé au nord du précédent dans les départements de la Haute-Loire et du Puy-de-Dôme, est exploité depuis plusieurs siècles. Il comprend trois faisceaux : un faisceau inférieur avec 5 couches de houille maigre de 4 à 5 mètres de puissance totale, un faisceau moyen avec houille assez grasse et flambante dont les couches, au nombre de 5 également, ont ensemble au moins 6 mètres et dépassent souvent cette épaisseur dans les renflements, mais aux dépens de la régularité, et un faisceau supérieur qui renferme 10 couches de charbon gras ayant en tout 4 à 5 mètres.

Si maintenant nous nous reportons à l'ouest pour pénétrer plus avant dans le cœur du Plateau Central, nous apercevons une longue traînée de petits bassins alignés suivant une ligne à peu près droite, qui s'étend sur une longueur de 150 kilomètres, avec une direction S. 15° O. — N. 15° E., de Pleaux dans les environs de Mauriac (Cantal) jusqu'à Fins (Allier). Ces terrains houillers se sont déposés dans une longue vallée préexistante des roches primitives, qui, à son débouché septentrional dans la mer du trias, se ramifiait pour former une espèce de delta dans les branches duquel se trouvent les bassins de Commentry et de Doyet.

Les premiers bassins exploités que l'on rencontre à l'extrémité méridionale de cette traînée sont ceux de *Champagnac* (Cantal) et de *Bourg-Lastic* (Puy-de-Dôme), où deux couches de charbon ont une puissance moyenne de plus de 5 mètres. On y trouve de l'anthracite et de la houille grasse à longue flamme.

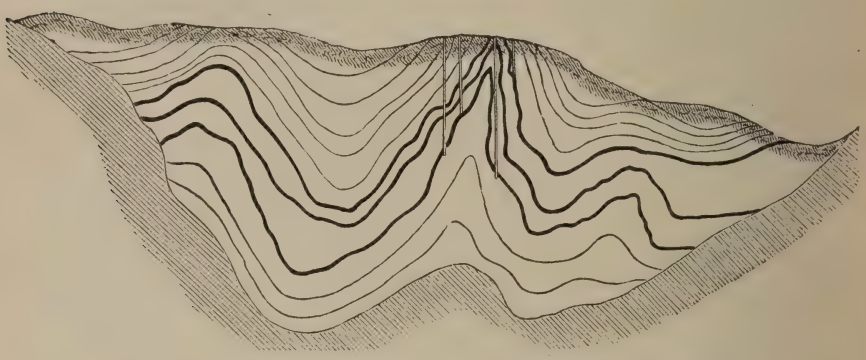


Fig. 303. — Coupe du bassin de Saint-Eloi (d'après Burat).

Le *bassin de Saint-Eloi*, près de Montaigut-en-Combrailles (Puy-de-Dôme), qui vient ensuite, a été si fortement comprimé (fig. 303) que ses couches se sont doublées dans certaines parties et ont donné des affleurements puissants que l'on a exploités à ciel ouvert. Dans le centre du bassin, les veines, au nombre de quatre principales, ont ensemble jusqu'à 18 mètres de puissance moyenne.

Le *bassin de Commentry* (Allier) est remarquable par sa belle couche de charbon gras de 10 à 25 mètres, dont l'épaisseur moyenne peut être évaluée à 14 mètres, qui se poursuit régulièrement sur une grande étendue et se subdivise en certains points en plusieurs veines indépendantes.

Dans le *bassin de Doyet*, situé tout près de celui de Commentry, existe une série de couches de houille très rapprochées, séparées par des schistes qui disparaissent parfois, en sorte que les couches se soudent et forment masse.

Les autres petits bassins du département de l'Allier, tels que ceux *de l'Aumance*, *de Fins et Noyant*, etc., ont beaucoup moins d'importance. Le premier seul est exploité et donne de la houille sèche à longue flamme et un peu d'anthracite.

Le *bassin de Decize*, qui surgit au milieu des dépôts triasiques du département de la Nièvre par suite d'un bombement, est comme un indice de la continuité souterraine de la longue traînée houillère que nous venons de suivre. Ce bassin, qui paraît s'étendre sur de vastes surfaces au-dessous des terrains secondaires, renferme neuf couches d'une houille grasse à longue flamme dont l'épaisseur totale est seulement de 9 à 10 mètres, mais qui sont dans des conditions très favorables à l'exploitation.

A l'ouest de l'Allier s'étendent sur le Plateau Central quelques bâssins clairsemés, dont ceux *d'Ahun* et *de Bourganeuf* (Creuse) sont les seuls qui méritent d'être signalés. On connaît dans le premier 9 couches, disposées concentriquement en fond de bateau ; leur puissance varie de $0^{m}50$ à 4 mètres.

Enfin, sur la lisière occidentale du plateau sont les *bassins de la Corrèze*, relativement étendus et puissants, mais malheureusement fort peu pourvus de charbon qu'on n'extrait guère qu'à Cublac. D'après plusieurs géologues ce terrain houiller, en grande partie recouvert par les grès triasiques, se raccorderait sous les terrains secondaires avec celui de la Vendée, qui a la même direction générale.

Groupe du Midi. — Presque tous les bassins houillers de la région méridionale se groupent encore sur les bords du Plateau Central. C'est d'abord, en suivant la lisière orientale, le *bassin de Prades* ou d'*Aubenas* (Ardèche), entièrement encaissé dans le terrain ancien, dont les couches, assez nombreuses, mais peu suivies, fournissent un charbon maigre et friable ressemblant à l'anthracite ; puis le *bassin d'Alais,* qui s'étend à cheval sur la limite des deux départements du Gard et de l'Ardèche et qui, par sa production, tient le troisième rang.

Ce dernier bassin comprend un faisceau houiller inférieur contenant à la Grand'-Combe 18 à 20 mètres de houille en 6 couches et un faisceau supérieur dans lequel on compte 18 mètres de houille en 11 couches. On y trouve surtout de la houille demi-grasse à flamme courte et un peu de houille grasse à longue flamme.

Près *du Vigan* (Gard) se montrent quelques affleurements houillers dans lesquels deux couches de houille à courte flamme sont faiblement exploitées.

Le *bassin d'Aubin et Decazeville* (Aveyron), encaissé au milieu des schistes cristallins et découpé par de nombreuses failles, est sur la lisière occidentale du Plateau Central et sa surface est très inégale et assez fortement accidentée. Les couches de houille qu'on y exploite forment deux faisceaux dont l'inférieur, dit *de Campagnac*, contient une grande couche de 6 à 12 mètres et plusieurs couches de 1 à 3 mètres, et le supérieur, ou *de Decazeville*, qui est le plus riche, présente entre autres une couche de 20 à 50 mètres de puissance.

A peu de distance de *Rodez*, près de Bennac, le terrain houiller forme quelques lambeaux dans lesquels sont exploitées des couches généralement minces et n'atteignant que sur quelques points des épaisseurs de 2 et 4 mètres

Le *bassin de Carmaux*, près d'Albi (Tarn), est, comme ceux d'Alais et d'Aubin, un facteur important de la production houillère du Midi. Ses limites ne sont pas nettement définies, car il disparaît à l'ouest et au sud sous des terrains secondaires ou tertiaires. Il se fait remarquer par sa richesse et la continuité des couches de houille, dont les épaisseurs réunies donnent une moyenne de 12 mètres.

Le *bassin de Graissessac* (Hérault), presque entièrement à découvert et isolé dans les terrains de transition, est sillonné par des vallées profondes et étroites, dont les fentes parallèles semblent représenter des failles de chaque côté desquelles il est difficile de suivre et d'assimiler les couches de houille. Les affleurements de ces couches sont nombreux ; on en exploite 6 à 7 qui donnent des houilles de toutes sortes, généralement demi-grasses.

Au sud-est de ce bassin se trouve celui *de Roujan*, dans le même département, dont l'exploitation est abandonnée.

Le terrain houiller affleure encore le long du massif *des Maures* (Var), sous forme d'une bande longue et étroite, cachée de distance en distance par le trias, dans laquelle il n'y a qu'une exploitation insignifiante. Dans les Corbières (Aude), se montrent aussi quelques affleurements.

Plusieurs gisements de lignite, dont la formation remonte à la fin de l'ère secondaire ou au commencement de l'ère tertiaire et sur lesquels nous reviendrons plus tard, apportent un appoint notable à la production charbonnière de la région méridionale.

643. Production des bassins français. — Le tableau suivant permet de se rendre compte de l'importance relative des divers bassins houillers que nous venons de passer en revue. Les chiffres qu'il contient se rapportent à l'année 1884.

GROUPES	BASSINS	PRODUCTION	NOMBRE d'ouvriers
		tonnes	
Nord	Valenciennes	9.370.947	46.800
	Le Boulonnais	66.910	516
Est	Ronchamp	203.655	1.213
	Le Drac (la Mure)	144.621	995
	Maurienne-Tarantaise et Briançon	25.467	428
	Oisans	801	53
	Chablais et Faucigny	200	5
Ouest	Le Maine	87.384	577
	Basse-Loire	53.244	577
	Vouvant et Chantonnay	39.048	377
Centre	Saint-Étienne et Rive-de-Gier	3.148.799	15.923
	Le Creusot et Blanzy	1.187.739	6.212
	Commentry et Doyet	754.522	3.752
	Brassac	247.690	1.657
	Decize	191.462	1.536
	Ahun	152.517	1.335
	Epinac et Aubigny-la-Ronce	122.597	681
	Saint-Eloy	121.689	871
	Champagnac et Bourg-Lastic	70.888	598
	Bert	48.221	369
	Sainte-Foy-l'Argentière	39.820	144
	La Chapelle-sous-Dun	31.697	223
	L'Aumance (Buxière-la-Grue)	30.168	247
	Langeac	27.999	128
	Communay	13.072	60
	Sincey	7.015	62
	Bourganeuf	6.100	41
	Cublac, Meymac, Argentat	4.418	74
	Le Roannais	3.581	24
Midi	Alais	1.891.148	12.228
	Aubin	764.310	3.906
	Carmaux	372.260	2.114
	Graissessac	248.248	2.227
	Aubenas	25.302	197
	Rodez	15.692	104
	Le Vigan	5.453	54
	Saint-Perdoux	2.396	21
	Les Maures	40	2
	Totaux	19.527.120	106.323

644. Méthodes d'exploitation de la houille. — Les procédés d'exploitation des gisements houillers sont très variés ; ils dépendent d'un grand nombre de particularités, dont les principales sont la puissance du gîte, sa régularité plus ou moins grande, l'inclinaison des couches, la solidité du toit, la présence du grisou, le degré d'inflammabilité du charbon, etc.

Il convient de remarquer à cet égard que les conditions dans lesquelles se trouvent les veines de charbon en France créent à l'industrie minière une situation beaucoup moins favorable qu'en Angleterre. Nos bassins tourmentés, comme ceux du Plateau Central, ou masqués par des terrains à niveaux aquifères, comme dans le Nord et le Pas-de-Calais, imposent aux ingénieurs un perfectionnement incessant des moyens d'action pour pouvoir soutenir la lutte commerciale. L'existence d'énormes amas tels que ceux de l'Aveyron ne constitue pas un avantage, ainsi qu'on pourrait le croire au premier abord, et il vaudrait certainement mieux pour la facilité de l'extraction que ces amas fussent répartis en plusieurs couches distinctes de 1 à 3 mètres d'épaisseur.

On n'exploite guère la houille que souterrainement. Les diverses méthodes à suivre, dont le choix doit être déterminé pour chaque cas particulier par les circonstances dans lesquelles se présente le gisement, peuvent se classer en trois catégories :

1° *Exploitation par piliers,* qui consiste à laisser dans la masse exploitable des piliers assez solides pour soutenir le toit, que l'on abandonne définitivement en se résignant ainsi à une perte pure et simple ;

2° *Exploitation par éboulement,* dans laquelle on laisse tomber le toit, après avoir pris toutefois les précautions nécessaires pour enlever la plus grande partie possible du charbon et sauvegarder la sécurité des ouvriers ;

3° *Exploitation par remblayage*, qui convient surtout aux couches puissantes et qui consiste à combler les vides produits par l'abatage avec des matières stériles fournies par la mine elle-même ou des matériaux provenant de l'extérieur.

Il n'entre pas dans notre plan de décrire les procédés d'exploitation de la houille. Mais nous ne pouvons nous dispenser de dire quelques mots des effets qu'ils sont susceptibles de produire sur le sol, en raison de l'intérêt que présente cette question au point de vue des travaux publics.

645. Effets de l'exploitation de la houille sur le sol. — Tout le monde s'accorde à reconnaître que la méthode d'exploitation par piliers est la seule qui inspire une sécurité absolue en ce qui concerne la conservation du sol. Avec les autres méthodes, on n'a pas trouvé jusqu'à présent de moyen plus efficace de s'opposer aux affaissements que de réserver, au-dessous de la surface à protéger, une partie du gîte qu'on laisse inattaquée sous le nom de *massif de protection* ou d'*investison*.

Ces dernières méthodes exposent le sol à des mouvements dont il est d'ailleurs très difficile, sinon impossible, de prévoir l'importance. Pour résoudre le problème en face duquel on se trouve, il faut en effet tenir compte d'une foule de facteurs tels que la surface et la hauteur des excavations souterraines, leur profondeur au-dessous du sol, la nature des terrains, l'allure et la disposition des couches, les accidents géologiques, l'action des eaux, etc.

En général, l'amplitude verticale des affaissements est d'autant plus faible que la couche est plus profonde et qu'elle est plus mince. Dans la méthode par éboulement, le toit se brise en tombant, mais les morceaux s'enchevêtrent irrégulièrement les uns dans les autres et donnent lieu à une augmentation de volume. Comme le vide à remplir est limité, il en résulte que l'importance de la fragmentation dans les assises superposées va en s'atténuant peu à peu jusqu'à ce que l'on arrive à une zone qui offre à peine quelques brisures sans descente appréciable de la masse. La surface peut donc être complétement respectée par des exploitations suffisamment profondes.

Quand on applique la méthode du remblayage, le toit s'affaisse plus ou moins, suivant la compressibilité des remblais employés. Tandis que des pierres disposées à la main se compriment très peu, les matières argileuses se tassent de 50 et même

75 0/0 ; les remblais en fragments de schiste et de grès, dont on se sert si souvent dans les mines de houille, perdent 20 à 30 0/0 de leur volume. Mais ici l'affaissement ne se fait plus de la même manière que précédemment ; comme il n'y a pas de fragmentation et par suite pas de foisonnement des assises supérieures, cet affaissement est à peu près indépendant de la hauteur, d'après une remarque de M. Haton, et il se propage presque toujours jusqu'à la surface. Il peut même arriver que l'exploitation d'une couche mince remblayée se manifeste à la surface d'une manière plus apparente que celle d'une couche plus puissante exploitée par éboulement.

La déformation du sol consiste le plus souvent en un affaissement en cuvette. Quand les couches sont à peu près horizontales, le point le plus affaissé correspond au centre de l'excavation et les limites de la cuvette se trouvent rarement en dehors des plans verticaux passant par celles de cette excavation. Il n'en est plus de même quand les veines sont inclinées et il peut y avoir alors une distance considérable entre l'affaissement maximum du sol et le centre de l'excavation souterraine. On observe généralement vers le périmètre de la partie déprimée des crevasses sinueuses, irrégulièrement distribuées, dont la largeur peut atteindre plusieurs mètres, tandis qu'au milieu les fissures sont rares ou à peine visibles.

Les failles, les fissures des roches, les discordances de stratification, en détruisant la continuité, modifient ces caractères. Les mouvements ont alors une tendance à se produire de préférence suivant les plans de facile glissement qui traversent le terrain ou, en cas de discordance, à se propager suivant la normale des nouveaux joints.

La manière dont se manifestent ces dislocations du sol est d'ailleurs très variable. Tantôt l'affaissement suit pour ainsi dire pas à pas les progrès de l'exploitation ; tantôt il n'arrive que longtemps après ou par coups de charge successifs.

On a cherché à formuler des lois relatives à la propagation des mouvements de dislocation à travers les roches. Plusieurs ingénieurs appliquent une règle, posée d'abord par Gonnot, affirmée par Callon et dite *règle de la normale,* d'après laquelle

les effets de l'exploitation se feraient sentir de toutes profondeurs jusqu'à la surface, en suivant des plans de cassure normaux aux surfaces des couches exploitées. Dans cette théorie, les bancs sont assimilés à des poutres encastrées, qui doivent rompre dans l'encastrement, et on admet que, même pour une inclinaison de 68 degrés, les brisures se font suivant le périmètre du quartier exploité, sauf quand il y a des accidents stratigraphiques.

Mais la loi de la normale, trop absolue, se trouve souvent en contradiction avec les faits. Il est facile de comprendre notamment que pour les couches très redressées, la tendance à la rupture par écrasement vient s'ajouter à celle de la rupture par flexion transversale, d'où résulte une inclinaison des plans de séparation sous des angles variables.

M. Fayol a proposé, dans le *Bulletin de la Société de l'industrie minérale* de 1885, une formule qui nous paraît très rationnelle et dont voici l'énoncé : Les mouvements de terrain sont limités par une sorte de dôme qui a pour base la surface exploitée ; leur amplitude diminue à mesure qu'on s'éloigne du centre de l'excavation.

Cette formule, que l'auteur a vérifiée expérimentalement, est vague à la vérité, mais par cela même elle a l'élasticité nécessaire pour comprendre tous les cas qui peuvent se présenter. Seulement, pour qu'elle ait une utilité pratique et qu'elle serve à prévoir l'importance des affaissements, il faut la compléter par un grand nombre d'observations permettant de fixer, suivant les circonstances, la forme et les dimensions du dôme.

M. Fayol est déjà arrivé à donner quelques indications pratiques qui s'appliquent aux terrains analogues à ceux du bassin de Commentry, dans lesquels le grès prédomine et où l'inclinaison des couches est inférieure à 40 degrés. Ainsi, lorsque la surface exploitée est vaste, pour ainsi dire illimitée, la hauteur du dôme d'affaissement ne dépasse pas 200 fois la hauteur de l'excavation dans la méthode par éboulement, ou 200 fois la hauteur du tassement dans la méthode par remblayage. Si la surface exploitée est restreinte, la hauteur du dôme est comprise entre deux et quatre fois la largeur de

cette surface ; elle est de deux fois environ pour des excavations ou des tassements de remblai ayant moins de 2 mètres de hauteur ; plus grande si ce dernier chiffre est plus élevé.

D'après ces indications, l'exploitation d'une couche de 4 mètres de puissance, par exemple, déterminerait une zone d'affaissement dont la hauteur serait donnée par les chiffres suivants :

Surface exploitée indéfinie sans remblais	800	mètres.
— — avec remblais à 40 0/0 de tassement.....	320	—
Surface exploitée de 50 mètres de largeur sans remblais...	200	—
— — — avec remblais...	100	—

Bien entendu, ces chiffres n'ont rien d'absolu et ils pourraient varier beaucoup dans des terrains autrement constitués.

646. Relief et agronomie du terrain houiller en France. — Le terrain houiller ne recouvrant pas en France de très grandes étendues n'imprime pas au sol de caractères particuliers. Néanmoins son relief présente en général, ainsi que le fait remarquer Dufrénoy, une multitude de collines dont il est difficile de saisir l'ensemble, ce qui tient à ce que ce terrain a été affecté par des dislocations qui en ont relevé les couches dans différents sens. En outre, les roches houillères se décomposant facilement sous les influences atmosphériques, les formes qui résultent des mouvements qu'elles ont subis ont été fortement altérées. Les bassins de Saint-Etienne, de l'Aveyron, d'Autun et du Creusot nous offrent des exemples saillants de cette disposition : les collines s'y succèdent sans ordre, et de petits vallons assez évasés les découpent dans toutes les directions.

Les poudingues et les grès, formés de l'agglomération de galets et de grains où domine la silice, réunis par de l'argile, produisent en se désagrégeant une terre sablonneuse, mêlée de cailloux, sèche et de faible épaisseur. Aussi la végétation y est peu active, et le seigle lui-même n'y fournit que de maigres récoltes. Cependant, grâce à la couleur foncée de cette terre, la vigne y réussit quand l'exposition est favorable.

Quant aux schistes et aux grès tendres, qui se divisent faci-

lement, ils donnent une terre forte et profonde, propice aux prairies et aux pâturages, connue dans le Roannais sous le nom de *beluze*. En l'amendant avec la chaux, on peut lui faire produire de bonnes récoltes de froment.

Quoi qu'il en soit, on peut dire qu'à l'exception de quelques vallées couvertes de riches dépôts alluviens, le sol des régions houillères est généralement peu fertile. Des bruyères, de vastes châtaigneraies entrecoupées de champs de seigle occupent le sommet et le flanc septentrional des collines, tandis que des prairies recouvrent le fond des vallées et les parties basses des coteaux. Le meilleur parti qu'on puisse tirer des pentes arides consiste à les boiser ou à les gazonner. Cette opération est facilitée par les nombreuses sources qui, grâce aux fissures qui traversent les bancs de grès et à la présence de couches de schistes ou d'argiles imperméables, sourdent souvent à différents niveaux. Mais si ces sources ont l'avantage d'entretenir la fraîcheur dans ces terrains, elles ont par contre l'inconvénient d'amener parfois des glissements et des éboulements considérables.

§ IV.

TYPES DE BASSINS HOUILLERS.

1. *Bassin de Valenciennes.*

647. Extension de la bande houillère. — Le bassin houiller exploité dans les départements du Nord et du Pas-de-Calais ne représente qu'une faible partie de la grande bande houillère qui va de Dortmund en Westphalie à Boulogne-sur-Mer, avec une longueur totale de 500 kilomètres et une largeur moyenne de 10 kilomètres. Cette bande renferme l'une des plus riches et des plus vastes accumulations de houille du continent européen ; elle produit annuellement au-delà de 50 mil-

lions de tonnes, dont l'extraction donne du travail à 250.000 ouvriers.

A l'extrémité orientale de cette bande, dans le bassin de la Ruhr en Westphalie, l'étage houiller est en grande partie recouvert par le terrain crétacé. Les assises inférieures sont les seules qui affleurent au jour, et c'est cette circonstance qui a retardé longtemps la découverte de la partie la plus productive du bassin.

Le terrain houiller se prolonge souterrainement vers le S.-O. pour se relier, ainsi que l'ont démontré les sondages pratiqués récemment dans le Limbourg, au bassin des environs d'Aix-la-Chapelle où il reparaît au jour pour occuper un assez vaste espace, mais où il ne contient guère que des veines de houille maigre.

A Liège la zone houillère a une largeur de 12 kilomètres au plus. Elle s'étrangle ensuite progressivement en suivant à une faible distance la rive gauche de la Meuse, jusqu'à disparaître complètement sur une longueur de 2 à 3 kilomètres entre Huy et Namur. A partir de cette ville, où on ne trouve que quelques veines de houille maigre, elle reprend plus de largeur pour atteindre 8 kilomètres à Charleroi. Elle traverse la région du Centre belge et se poursuit au couchant de Mons avec une largeur de 11 kilomètres, en partie recouverte par des terrains plus récents, comme en Westphalie.

Ces terrains de recouvrement, auxquels on donne le nom de *morts-terrains,* masquent complètement l'étage houiller à partir de la frontière française. A Anzin, ils ont une épaisseur moyenne de 80 mètres et cette épaisseur augmente à l'ouest vers Denain, Douai, Béthune, où on n'a rencontré le terrain houiller qu'à une profondeur de 150 mètres.

A Douai, la bande houillère fait un coude et se dirige sur Béthune. A partir de ce point, elle se rétrécit peu à peu et disparaît à Fléchinelle. En continuant à suivre son prolongement, on voit affleurer le petit bassin du Boulonnais dont il a déjà été question ci-dessus (n° 637).

Il est permis de penser avec M. Gosselet que le terrain houiller passe ensuite sous le détroit du Pas-de-Calais, pour se relier aux couches houillères de Bristol et du Pays de Galles. La

partie souterraine de ce terrain en Angleterre devrait alors, s'il en est ainsi, être recherchée non pas au nord de Londres, comme le pensent les géologues anglais, mais au sud de cette capitale dans le Kent, le Sussex et le Hampshire.

648. Découverte du terrain houiller du nord de la France. — En Belgique, où le terrain houiller est visible à la surface du sol et où la houille s'y décèle souvent elle-même, l'exploitation du combustible minéral remonte à une date très ancienne. Il n'en est pas de même dans le nord de la France et l'on conçoit sans peine que l'existence du terrain houiller y soit restée si longtemps ignorée.

C'est en 1717 que le vicomte Desandrouin entama les premiers travaux pour rechercher le prolongement du bassin de Mons dans le Hainaut français. Au bout de 17 ans d'efforts sans relâche, après avoir creusé en vain 14 puits, il découvrit enfin, le 24 juillet 1734, une couche de houille d'excellente qualité sur le territoire d'Anzin.

Ce qui rendait les travaux particulièrement difficiles, c'est la constitution des morts-terrains qui, appartenant au système crétacé, renferment des couches très aquifères. La traversée de ces couches est maintenant une opération courante ; mais il y a 150 ans, alors que l'art de l'exploitation des mines était encore dans l'enfance, il fallait une rare ténacité pour ne pas désespérer du succès.

La découverte du terrain houiller du Pas-de-Calais, qui est la continuation sous les morts-terrains de celui du département du Nord, ne s'est pas accomplie plus facilement que celle de ce dernier. Ces deux parties de la grande bande houillère sont en effet séparées par un étranglement avec changement brusque de direction à Douai. Or on s'obstinait toujours à placer les sondages de recherche dans le prolongement normal des couches du département du Nord, c'est-à-dire dans la direction d'Arras, et l'on ne rencontrait au-dessous du système crétacé que des terrains dévoniens négatifs ; aussi on était arrivé à la conclusion que, suivant toute probabilité, le terrain houiller productif se terminait dans cette région.

Tel était l'état de la question lorsqu'en 1841 un sondage en-

trepris à Oignies pour trouver des eaux artésiennes tomba, vers 140 mètres de profondeur, sur des schistes analogues aux schistes houillers. Ce fut un trait de lumière ; le sondage, changeant de but, fut approfondi et l'on ne tarda pas à rencontrer le terrain houiller bien caractérisé, puis plusieurs couches de houille.

Dès lors les sondages se multiplièrent et amenèrent le fonçage de puits d'extraction et la constitution successive de concessions, actuellement au nombre de 21, s'étendant sur une longueur de 60 kilomètres et une surface de plus de 60.000 hectares. Le capital engagé dans ces travaux atteint 450 millions de francs, d'après M. Vuillemin.

Nous ajouterons que le nombre des puits et des sondages qu'on a exécutés dans les départements du Nord et du Pas-de-Calais, depuis le commencement du XVIIIe siècle jusqu'à nos jours, dépasse un millier.

Lorsque le bassin du Pas-de-Calais fut découvert, on exploitait depuis plus d'un siècle et demi déjà, dans le Bas-Boulonnais, les houillères d'Hardinghen, ouvertes sur un soulèvement du terrain houiller et du calcaire carbonifère à travers les terrains jurassiques et crétacés. Il y a tout lieu de croire que si l'on n'avait pas commis au sujet de la position stratigraphique de ce gisement l'erreur que nous avons signalée plus haut (n° 637) et si on avait reconnu plus tôt qu'il appartient à l'étage houiller, on aurait eu l'idée de pratiquer des sondages sur une ligne allant de Douai à Boulogne, et la découverte du bassin du Pas-de-Calais ne se serait pas fait attendre aussi longtemps.

649. Constitution pétrographique du terrain houiller. — Les principales roches du terrain houiller du Nord sont des argiles schisteuses et des grès. Elles forment des couches régulières, qui alternent à un grand nombre de reprises, sans ordre déterminé, en restant parallèles dans les plis et replis qui affectent la formation. Accessoirement on trouve des poudingues, dont les grains ne dépassent jamais la grosseur d'un pois, des arkoses et quelques rognons de fer carbonaté et de fer oxydé hydraté.

La houille est généralement comprise entre deux bancs d'ar-

gile schisteuse ou schiste. Cette dernière roche, dans son état le plus ordinaire, est d'un grain fin, douce au toucher, toujours assez tendre pour se laisser rayer par l'ongle ; sa couleur, qui varie du gris au noir, est comparable à celle d'une teinte d'encre de Chine plus ou moins foncée, tandis que le schiste dévonien, avec lequel on pourrait être tenté de la confondre, a la couleur de l'encre ordinaire. A l'intérieur des travaux elle a une assez grande consistance, mais elle se délite facilement lorsqu'elle a subi le contact de l'air.

Le schiste qui se trouve au toit des couches de houille (*roc* des mineurs) est généralement micacé et se divise facilement en feuillets droits ; il est d'autant plus noir et plus chargé d'empreintes végétales qu'on s'approche davantage de la houille ; cependant les plus belles empreintes ne sont pas au contact de la veine, mais à une cinquantaine de centimètres au-dessus. Quant au schiste du mur, il a une cassure irrégulière et il est traversé en tous sens par des racines de *Stigmaria*. Cette différence des schistes du toit et du mur est assez constante pour que, dans les parties plissées du bassin, les mineurs puissent reconnaître facilement si une couche fortement inclinée a été renversée au-delà de la verticale.

Les grès houillers, ou *kuerelles* [1] des mineurs, ont généralement une coloration gris sombre. Ils sont quelquefois schisteux et renferment fréquemment une grande quantité de paillettes de mica. Ils passent peu à peu aux schistes véritables. Ils se montrent en bancs épais dont la puissance peut atteindre 22 mètres sans intercalation de schiste.

Le grès ne forme jamais le mur d'une couche de houille, mais il lui est quelquefois superposé. On y rencontre des tiges et des troncs de plantes, mais pas de feuilles.

En Belgique, il y a au-dessous du terrain houiller proprement dit, ou terrain houiller productif, des schistes noirs bitumineux remplis de pyrite de fer. On s'en est servi pour la fabrication de l'alun, et grâce aux traces des anciennes exploi-

1. On prétend que cette expression a son origine dans les disputes ou *que relles*, auxquelles le percement des grès, plus durs que le roc, est susceptible de donner naissance entre les ouvriers et les maîtres mineurs pour le règlement de la main-d'œuvre.

tations, on peut les suivre depuis Namur jusqu'à Liège où ils forment une zone épaisse de 2 à 30 mètres entre le calcaire carbonifère et les schistes houillers.

650. Couches de houille. — La houille n'entre pas pour plus d'un trentième dans la masse du terrain houiller. Elle se répartit en nombreuses couches ; à Mons, où le terrain est complet et atteint une puissance d'environ 2.900 mètres, on compte 156 couches dont l'épaisseur varie de $0^m,10$ à $1^m,60$; 80 seulement, ayant une épaisseur de plus de $0^m,35$, sont exploitables. Cette épaisseur semble augmenter à peu près régulièrement quand on se transporte vers l'ouest ; dans le Pas-de-Calais il n'est pas rare de rencontrer des veines de 2 mètres et même $2^m,50$.

Les couches de houille sont presque toujours accompagnées au toit ou au mur d'un schiste bitumineux, que les ouvriers désignent sous le nom de *scaillage* ou d'*escaille*. Ce schiste, plus tendre que le charbon et plus facile à travailler, est d'un noir luisant, à feuillets sinueux ; il aide à l'abatage de la houille, et certaines couches même ne seraient pas avantageusement exploitables sans leur sillon d'escaillage. Dans les houilles grasses, il est combustible et on en tire souvent parti sur les lieux de l'exploitation pour le chauffage des ouvriers et la production de la vapeur.

Quelquefois aussi les couches de houille sont divisées en deux ou trois parties par des lits d'argile noire, tendre ou pulvérulente, appelée *houage* ou *havrit*, qui peut également séparer les couches de leur mur.

Il arrive souvent que dans le voisinage d'une veine exploitable, on trouve, soit au toit soit au mur, une veinule mesurant de 1 à 20 centimètres d'épaisseur, qu'on nomme le *voisin de la veine*. On peut parfois l'exploiter avec avantage en même temps que cette veine.

On répartit les couches de houille du terrain houiller en quatre faisceaux d'après leur nature :

4. Faisceau des charbons à gaz.
3. Faisceau des charbons gras.
2. Faisceau des charbons demi-gras.
1. Faisceau des charbons maigres.

Le faisceau inférieur se compose de charbons secs, c'est-à-dire maigres et plus ou moins anthraciteux, brûlant avec une flamme courte, dont on se sert principalement pour la cuisson des briques et de la chaux, pour la fabrication des charbons agglomérés, etc. Les houilles demi-grasses, ou *houilles dures*, du deuxième faisceau conviennent pour le chauffage des chaudières à vapeur, pour le chauffage domestique et pour la fabrication du coke. Les charbons gras, qui sont les plus friables et fournissent peu de gros à l'abatage, sont les plus recherchés par les forgerons. Enfin le quatrième faisceau donne des houilles éminemment propres à la production du gaz d'éclairage, désignées sous le nom de *flénus*.

On voit que les matières volatiles contenues dans la houille vont en augmentant des couches les plus anciennes aux plus récentes. Cependant ce n'est pas une règle sans exception ; une même couche peut quelquefois varier de nature dans son étendue et se trouver plus grasse en un point qu'en l'autre.

Au point de vue des grosseurs, on classe les charbons du bassin de Valenciennes en plusieurs catégories : les *gros*, blocs qu'on enlève à la main ou qui sont retenus par des grilles à barreaux parallèles espacés d'une vingtaine de centimètres ; les *gailleteries*, fragments à peu près de la dimension du poing ; les *tout-venants* ou *moyens*, charbons tels qu'il sortent de la mine, après enlèvement du gros ; les *criblés*, que l'on obtient en éliminant des tout-venants tout ce qui peut passer au travers de grilles à écartements variables mais inférieurs à quelques centimètres ; les *fines*, charbons qui traversent les grilles servant à la préparation des criblés et que l'on employe surtout pour la fabrication du coke et des agglomérés. Depuis que l'on a installé des appareils de classement et des lavoirs à feldspath, on distingue encore un plus grand nombre de qualités de charbon, caractérisées par la grosseur de leurs fragments.

651. Fossiles. — La faune du terrain houiller du Nord est peu variée et peu abondante En quelques points on observe dans les schistes des empreintes de coquilles d'eau saumâtre, telles que des *Cardinia* ou *Anthracosia*. Mais il y a aussi à différents niveaux des fossiles marins, dont la présence démontre

que la mer a envahi à plusieurs reprises les lagunes où s'accumulaient les débris végétaux destinés à être tranformés en houille ; ce sont surtout des *Orthis*, des *Goniatites*, etc. Les couches marines sont d'ailleurs très minces et on n'y rencontre jamais d'empreintes végétales bien conservées.

La flore est bien plus riche que la faune et chacun des quatre faisceaux que nous avons distingués ci-dessus est caractérisé par la prédominance de certaines espèces de plantes, ainsi que l'a montré M. l'abbé Boulay.

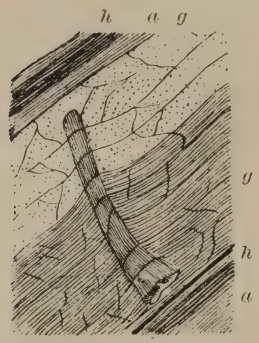


Fig. 304. — Tige fossile d'Anzin. — *a*, argile schisteuse ; *g*, grès ; *h*, houille et schiste bitumineux.

On trouve quelquefois, dans le terrain houiller, des troncs d'arbre placés perpendiculairement à la stratification, comme celui que l'on a rencontré en 1836 dans l'exploitation de la fosse Bleuse-Borne à Anzin (fig. 304) et qui avait plus de cinq mètres de longueur. On remarque que les strates sont presque toujours relevées ou courbées autour des tiges qu'elles encaissent, ce qui concorde avec l'idée d'un transport et vient à l'appui de la théorie de la formation de la houille par charriage à courte distance, que nous avons exposée plus haut (n° 541).

652. Structure du bassin. — Quoiqu'il ait une forme très allongée, l'ensemble du bassin obéit aux lois générales des dépôts sédimentaires. Les différentes couches qui le constituent s'emboîtent les unes dans les autres comme des tuiles de diamètres décroissants, en sorte que leurs affleurements dessinent sur les lisières littorales du nord et du sud des zones parallèles, les lits supérieurs n'occupant que de faibles étendues comparativement à celles des lits inférieurs.

Pour se faire une idée nette de la structure de ce bassin, il faut naturellement partir des houillères de la Belgique, où le terrain houiller est à découvert et par suite d'une observation plus facile qu'en France.

La longue vallée dans laquelle s'est déposée la houille avait un fond ondulé suivant le sens longitudinal ; elle était très profonde en certains points, tandis qu'en d'autres elle présentait des saillies plus ou moins prononcées. Au couchant de Mons, où existait l'une des plus grandes dépressions, on trouve les quatre faisceaux de houille ; à Namur au contraire, la vallée a été comblée rapidement par les houilles maigres et les roches au milieu desquelles elles sont intercalées.

Postérieurement à son dépôt, le terrain houiller a été soumis à une forte compression latérale, venue du sud, qui a relevé les couches et rendu les zones encore plus distinctes par leur inclinaison. Ainsi les couches qui affleurent sur la lisière méridionale plongent vers le nord par leurs allures dominantes ; celles qui affleurent sur la lisière septentrionale plongent au midi. Le raccordement des deux pendages inverses se fait par un pli en fond de bateau, dit *naye*, qui ondule tantôt vers le nord, tantôt vers le sud.

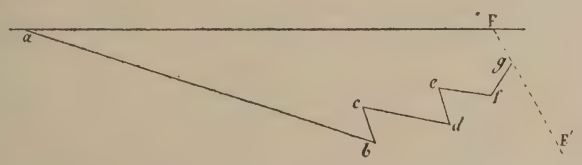


Fig. 305. — Coupe idéale d'une couche de houille. — *ab*, combles du nord ; *bcdefg*, combles du midi ; *cd*, *ef*, plateures ; *bc*, *de*, *fg*, dressants ; FF', faille.

Cette compression ne s'est pas faite sans froissement. Les couches, obligées de tenir dans un espace plus étroit, se sont plissées de telle sorte qu'à Mons par exemple elles n'occupent plus qu'une largeur de 11 kilomètres, alors que leur développement horizontal serait de 14 kilomètres. A Charleroi, où la compression a été encore plus énergique et a donné lieu à 22 plis principaux, les couches inférieures ont une largeur de 6.600 mètres, et s'étaleraient sur 11.500 mètres si elles étaient développées.

La figure 305, qui représente une coupe idéale perpendiculaire à l'axe longitudinal du bassin, permet de se rendre compte de l'allure générale d'une couche. Les couches qui affleurent

sur la lisière septentrionale ont une stratification régulièrement inclinée ; ce sont les *combles du nord*, dont la pente est d'une trentaine de degrés, tandis que les *combles du midi* sont repliés sur eux-mêmes en formant des plans et des surfaces réglées qui se raccordent suivant des arêtes à peu près droites, le plus souvent inclinées à l'horizon, appelée *crochets* ou *crochons* par les ouvriers. Les parties les plus relevées de ces couches sont des *droits* ou *dressants* ; celles qui sont faiblement inclinées sont des *plats* ou *plateures*.

Les dislocations qui ont affecté le terrain houiller ne se sont pas bornées à le comprimer et à en plisser les couches ; elles ont amené la production de failles qui compliquent singulièrement son allure et rendent souvent très douteuse l'assimilation des différentes veines (fig. 306).

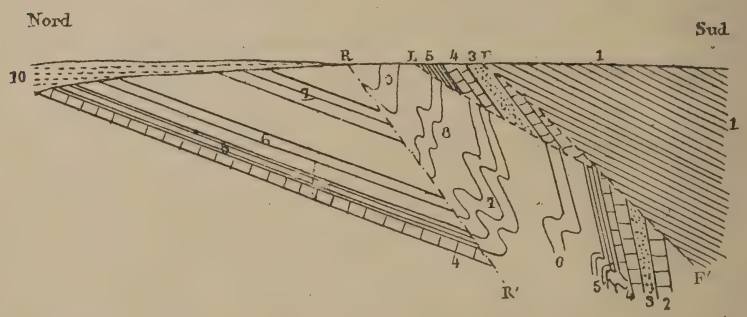


Fig. 306. — Coupe schématique du bassin houiller franco-belge (d'après M. Gosselet). — 1, schistes rhénans; 2, calcaire de Frasne (famennien); 3, psammite famennien ; 4, calcaire carbonifère; 5, schistes bitumineux pyritifères ; 6, faisceau des houilles maigres ; 7, faisceau des houilles demi-grasses; 8, faisceau des houilles grasses; 9, faisceau des houilles à gaz ; 10, morts-terrains; FF', grande faille ; LL', faille limite ; RR', faille au pli.

Sur le bord méridional du bassin on constate l'existence d'une grande faille FF', généralement peu inclinée, dite *faille du midi*, qui s'étend depuis Liège jusque dans le Boulonnais. Cette faille a renversé les schistes rhénans sur le terrain houiller, en entraînant à la surface un paquet de couches limité de l'autre côté par la *faille limite* LL'. Dans la concession d'Anzin il y a en outre une grande faille, appelée *faille au pli* ou *cran de retour*, RR', reconnue sur une longueur de 30 kilomètres,

qui sépare nettement la bande houillère en deux parties, l'une au nord comprenant les maigres et les demi-gras, l'autre au sud comprenant les houilles grasses et les flénus.

653. Dommages causés par l'exploitation de la houille. — En raison de l'épaisseur relativement faible des couches de houille et de la profondeur des travaux, l'exploitation des mines du Nord et du Pas-de-Calais ne cause généralement pas d'accidents graves dans les constructions situées au-dessus des excavations souterraines, et il ne semble pas qu'il y ait lieu de s'en préoccuper outre mesure au point de vue de la sécurité publique.

Pour les routes de terre et les voies ferrées, dont le profil en long peut être facilement remanié, on n'a pas non plus signalé jusqu'à présent d'inconvénient sérieux provenant du fait des mouvements du sol.

Quand ces mouvements affectent des voies navigables, comme le cas s'est présenté pour la Scarpe aux abords de Douai, pour diverses portions de l'Escaut dans la concession d'Anzin, pour le canal de la Deule à Meurchin, il peut en résulter des dépenses notables. Les plans d'eau des biefs étant en effet généralement invariables, la profondeur s'augmente d'une quantité égale à l'affaissement, et il faut recharger les digues et quelquefois les consolider, relever des ponts sous lesquels la hauteur libre est devenue insuffisante, ou remplacer des ponts fixes par des ponts mobiles.

C'est ainsi que sur le canal de Lens à la Deule, exécuté récemment, les affaissements se sont étendus sur une longueur de deux kilomètres et que, aux abords de la traversée du chemin de fer du Nord, ils ont été assez considérables pour que, après moins d'une année, on ait été obligé de relever le pont construit vers la gare de Lens, quoiqu'on lui eût donné une hauteur libre supérieure à la hauteur réglementaire.

Pour ne pas être entraîné à des remaniements coûteux sur les voies navigables, il importe d'éviter de construire les écluses en des points susceptibles de s'affaisser notablement, de faire en sorte de tenir les ponts fixes aussi élevés que possible, et, quand on le peut, de se contenter de ponts mobiles.

Lorsque les affaissements se produisent sur des terrains peu élevés au-dessus du niveau des eaux, ils en rendent la culture impossible en les transformant en marais, comme on peut le constater sur plusieurs points des concessions d'Anzin et de Lens. Il importe, dans l'intérêt de la salubrité publique et de l'agriculture, d'assainir ces terrains couverts d'eaux stagnantes.

Si les marécages sont peu étendus, il est possible d'obtenir ce résultat en les remblayant et utilisant à cet effet les schistes et les grès remontés à la surface.

Mais dans le cas contraire, et si l'on ne peut assurer l'écoulement des eaux à l'aide d'un canal, il faut recourir à un système d'épuisement par machines à vapeur. C'est ainsi que la compagnie d'Anzin a exécuté, il y a quelques années, d'importants travaux d'épuisement des vastes marécages que son exploitation avait créés dans les communes de Saint-Saulve et d'Onnaing. Ces travaux, qui paraissent donner des résultats satisfaisants, consistent dans l'ouverture d'un fossé de ceinture détournant de la cuvette d'affaissement les eaux des fonds supérieurs, dans l'approfondissement et l'élargissement des fossés et rigoles existant dans cette cuvette et dans la création d'un canal amenant les eaux à une machine à vapeur qui les élève pour les rejeter dans l'Escaut.

2. *Bassin de Saint-Etienne.*

654. Configuration du bassin. — Le bassin houiller de Saint-Etienne occupe une vaste dépression du terrain primitif, sur lequel ses couches reposent en stratification discordante. Au sud s'élève la chaîne du Pilat, au nord la chaîne parallèle de Riverie et de Fontanès, à l'ouest le plateau granitique des bords de la Loire, base des montagnes du Forez. Entouré de ces hauteurs, il se développe du N.-E. au S.-O., avec une longueur de 46 kilomètres, depuis les bords du Rhône jusqu'aux rives de la Loire, en dessinant sur le sol la forme grossière d'un triangle de 20.690 hectares de superficie, dont la base est

à peu près parallèle au cours de la Loire (fig. 307). De l'autre côté du Rhône, il a comme prolongement oriental le lambeau de Ternay et de Communay et il se pourrait même qu'il allât

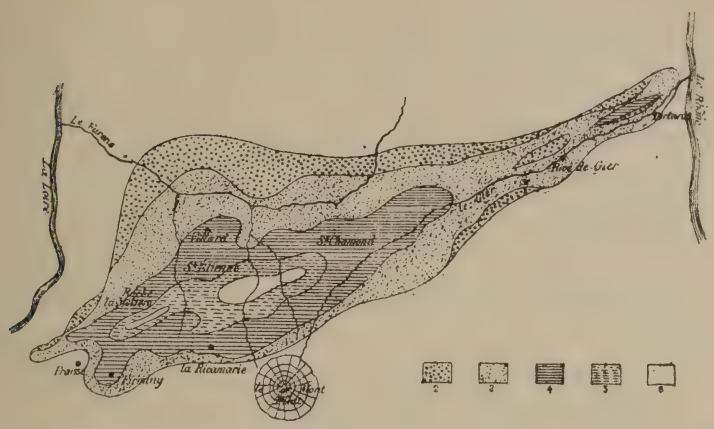


Fig. 307. — Bassin houiller de Saint-Etienne. — 2, brèche de la base; 3, faisceau houiller de Rive-de-Gier; 4, faisceau de Saint-Chamond et faisceau houiller inférieur de Saint-Etienne; 5, Faisceau houiller moyen de Saint-Etienne; 6, Faisceau houiller supérieur de Saint-Etienne et faisceau stérile.

rejoindre, sous les dépôts secondaires et tertiaires du Dauphiné, où des sondages récents l'ont atteint vers 200 mètres de profondeur, le terrain anthracifère des Alpes [1].

La surface du bassin de Saint-Etienne est fortement accidentée. Le trait le plus caractéristique de son relief est la ligne de partage des eaux de la Loire et du Rhône qui le traverse du nord au sud ; d'un côté coule le Gier, affluent du Rhône ; de l'autre le Furens, affluent de la Loire.

1. Il y a quelques années on a exécuté un forage à Montrond pour rechercher le terrain houiller que l'on supposait, à tort d'après Grüner, devoir se prolonger sous la plaine tertiaire du Forez. Mais au lieu de houille on a trouvé une source thermale jaillissant par intermittences, comme les geysers, accompagnée de dégagements d'acide carbonique et renfermant jusqu'à 6 grammes de bicarbonate de soude par litre. On était alors à une profondeur de 475 mètres. Plus bas on a traversé des schistes verts et des grès micacés paraissant appartenir encore au groupe tertiaire. L'origine de ces eaux minérales semble se rattacher, comme celle de la source de Saint-Galmier qui est également bicarbonatée sodique, aux masses basaltiques qui sillonnent la chaîne du Forez et son pied aux environs de Montbrison.

Cette division naturelle avait autrefois fait regarder le terrain houiller de la Loire comme composé de deux bassins distincts, celui de Saint-Etienne et celui de Rive-de-Gier. Avant l'établissement du chemin de fer de Lyon à Saint-Etienne, elle avait puissamment influé sur les débouchés des mines groupées autour de ces deux villes. Saint-Etienne expédiait ses produits à l'ouest par la vallée de la Loire, tandis que Rive-de Gier alimentait exclusivement Lyon et le littoral de la Saône et du Rhône.

On sait aujourd'hui que la subdivision du terrain houiller en deux parties séparées n'a plus de raison d'être. Grüner a démontré que le bassin de Rive-de-Gier représente la base de la formation et qu'il n'est qu'une fraction du bassin de Saint-Etienne.

655. Division générale du terrain houiller. — Grüner divise le terrain de la Loire en sept faisceaux, dont trois stériles et quatre plus ou moins riches en houille :

7. Faisceau stérile.
6. Faisceau houiller supérieur de Saint-Etienne.
5. Faisceau houiller moyen de Saint-Etienne.
4. Faisceau houiller inférieur de Saint-Etienne.
3. Faisceau stérile de Saint-Chamond.
2. Faisceau houiller de Rive-de-Gier.
1. Brèche de la base.

Quand on examine les limites de ces divisions sur la carte (fig. 307) on voit qu'elles forment une série de courbes grossièrement concentriques, à part quelques ressauts brusques qui affectent tout à la fois le sous-sol ancien et l'étage houiller. Il suit de là que le marécage où se déposait la houille a dû progressivement se rétrécir pendant toute la durée de l'époque houillère.

La *brèche*, qui repose immédiatement sur le terrain primitif, est un puissant amas qui peut atteindre plus de 200 mètres d'épaisseur et qui n'a quelquefois qu'une vingtaine de mètres à peine. Elle se compose de débris anguleux de granite, de gneiss et de micaschiste, auxquels se mêlent quelques rares fragments de porphyre quartzifère de nuance claire, le tout provenant des roches encaissantes.

Le *faisceau houiller de Rive-de-Gier*, de 100 à 120 mètres de puissance, comprend à sa partie inférieure des poudingues et des grès grossiers, puis des grès fins et des schistes avec trois ou quatre couches de houille. Ces grès sont exploités comme pierres de construction dans les carrières du Mouillon et d'Assailiy. La couche de houille la plus élevée porte le nom de *grande masse*, à cause de sa puissance qui est en moyenne de 7 à 8 mètres, mais qui oscille de 0 m. 10 à 15 mètres suivant le point où on la considère ; elle est le plus souvent divisée en deux parties d'inégale importance par un faible banc de grès fin, dit *nerf blanc*. Les autres couches réunies mesurent 4 mètres en moyenne.

Le *faisceau stérile de Saint Chamond* consiste en un poudingue d'une très grande épaisseur, qui occupe tout l'intervalle compris entre Rive-de-Gier et Saint-Etienne. A Saint-Chamond on lui a reconnu 700 à 800 mètres de puissance. Il forme le lit du Gier à Rive-de-Gier même, ainsi que les flancs abrupts de l'étroite vallée au nord et au sud de la ville. Les galets arrondis qui le composent sont surtout en quartz blanc provenant du micaschiste et leur grosseur varie de celle d'une noix à celle de la tête d'un enfant ; souvent il est micacé.

Le *faisceau houiller inférieur de Saint-Etienne*, ou *faisceau de Saint-Chamond*, est le plus important des trois faisceaux du territoire proprement dit de Saint-Etienne. Sa puissance totale atteint 850 à 900 mètres et le nombre des couches de houille est de 10 à 12, parmi lesquelles 3 au moins ont plus de 3 mètres et souvent 4, 5 et 6 mètres d'épaisseur. Ces couches peuvent se dédoubler en deux ou trois veines distinctes, de sorte que sur quelques points on compte jusqu'à 12 et même 15 couches exploitables.

Le *faisceau houiller moyen de Saint-Etienne*, dit aussi *faisceau de Bérard*, atteint au maximum 310 mètres avec 8 ou 9 couches dont l'une, ou *grande masse*, a une épaisseur de 10 à 12 mètres sur certains points comme son homonyme de Rive-de-Gier, et 4 à 5 mètres en moyenne. A la Ricamarie, elle a présenté un renflement de 65 mètres (fig. 308).

Le *faisceau houiller supérieur de Saint-Etienne*, ou *faisceau du bois d'Aveize*, n'occupe que la faible étendue de 1.200 hectares. Sa puissance est de 200 à 250 mètres et dans la région où il est complet, comme au bois d'Aveize, il comprend 10 ou 12 couches dont la puissance réunie est de 15 à 20 mètres.

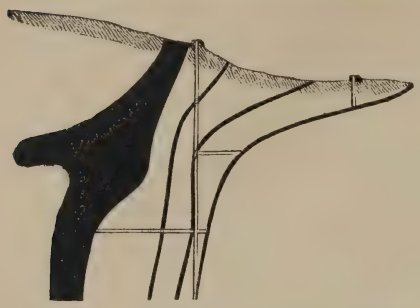


Fig. 308. — Coupe transversale de la grande couche à la Ricamarie.

Le *faisceau stérile*, qui termine cette série, a une épaisseur de 500 mètres ; il est argileux ou quartzo-micacé, avec une coloration verte ou rouge, et forme par les caractères de sa flore la transition du houiller au permien.

En résumé l'épaisseur totale du dépôt houiller de la Loire est d'environ 3.000 mètres. Le nombre des couches de houille de plus d'un mètre de puissance est de trente en moyenne et la somme des épaisseurs utiles varie de 50 à 80 mètres.

Les houilles sont en général grasses et collantes. Les charbons maigres sont assez rares ; quant aux charbons secs à longue flamme, ils font défaut. D'une manière générale, les couches inférieures renferment moins de matières volatiles que les couches plus élevées.

Au point de vue pétrographique, la prédominance appartient aux poudingues ; les grès viennent en seconde ligne. Les schistes se trouvent surtout au voisinage des couches de houille, auxquelles ils se substituent d'ailleurs parfois. Dans le bassin de Valenciennes, c'est l'inverse qui se produit, puisque là les schistes sont les roches les plus abondantes.

Le fer carbonaté lithoïde existe en rognons ou en couches à quelques niveaux.

656. Flore. – Les restes organiques du terrain houiller de la Loire appartiennent presque tous au règne végétal. La faune est extrêmement pauvre. En dehors de quelques ailes d'insectes et de quelques écailles de poissons, on ne trouve guère que

de rares *Unio* de petite taille, ainsi que des pistes assez nombreuses d'annélides, répandues surtout dans les grès fins schisteux et micacés de la partie supérieure du bassin.

Quant aux débris végétaux, ils abondent à tous les niveaux. On a même retrouvé de véritables forêts comme celle que signalait Brongniart dès 1821, qui consiste en calamites en place dans le grès fin du faisceau moyen de Saint-Etienne (fig. 309), et d'autres, composées de conifères ou de fougères, que les travaux de mines et les carrières à ciel ouvert ont fait connaître dans les autres faisceaux.

Fig. 309. — Carrière de grès du Treuil.

Le bassin de Saint-Etienne est le seul de France dans lequel le sous-étage supérieur se présente avec son complet développement ; partout ailleurs on n'en observe qu'une partie. M. Grand' Eury, qui l'a étudié avec le plus grand soin, y distingue six zones distinctes de végétation, qui concordent avec les divisions établies par Grüner et qui lui ont permis de classer suivant leur âge relatif les divers gisements houillers. Nous reproduisons ci-dessous cette classification :

6. Zone des *Calamodendrées*. — Faisceau supérieur de Saint-Etienne, Saint-Bérain, Montchanin, Sully, Grand-Moloy, Montenaillot de Blanzy, Sainte-Foy-l'Argentière, Buxière-la-Grue, Decazeville, Commentry, Cublac, Champagnac, Saint-Pierre-la-Cour, bassin du Var, Littry.

5. Zone de passage. — Decize, Bourganeuf, Ahun.

4. Zone des *Fougères*. — Faisceau moyen de Saint-Etienne, Argentat, base de Decazeville, zone supérieure de la Grand'Combe.

3. Zone des *Cordaïtes* — Faisceau inférieur de Saint-Etienne, Saint-Chamond, Brassac, la Mothe, Langeac, Blanzy, Montceau, Longpendu, la Chapelle-sous-Dun, le Montet, Saint-Eloi, zone inférieure de la Grand'-Combe, Champclauson, Portes.

2. Zone des Cévennes. — Faisceau stérile de Saint-Chamond avec graines silicifiées, Ronchamp, Graissessac, Epinac, Carmaux, Neffiez, Durban, la Rhune, Bessèges, Prades, la Mure, Petit-Cœur en Tarantaise.

1. Zone de Rive-de-Gier. — Rive-de-Gier, Saint-Perdoux, anthracites du Briançonnais.

657. Allure générale des assises. — Les couches du terrain houiller de la Loire ont une direction générale N.E.-S.O. qui coïncide avec celle de l'axe du bassin et qui est sensiblement parallèle à la direction du bassin de Blanzy et du Creusot depuis Saint-Bérain jusqu'à Bert. On peut conclure de cette disposition que le littoral du Plateau Central était coupé, à l'époque houillère, par des dépressions transversales, obliques à sa limite et parallèles entre elles. Vers le sud, on retrouve encore cette direction dans la zone jurassique qui, de Valence à Aubenas, borde le littoral granitique, l'extrémité de cette troisième ligne étant marquée au-dessus d'Aubenas par le petit bassin houiller de Prades.

Quant à l'inclinaison, elle se fait presque partout vers le fond du bassin ; c'est l'allure dite en *fond de bateau*. Ainsi le long de la lisière nord les couches plongent au sud-est, et le

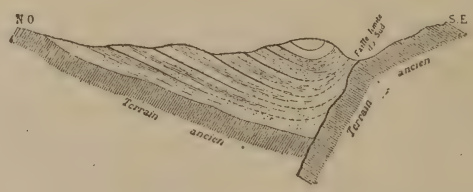


Fig. 310. — Coupe idéale du bassin de Saint-Etienne.

long de la lisière sud vers le nord-ouest. Mais les deux pendages opposés sont loin d'être égaux. La *quille* du fond de bateau, ou ligne de *thalweg houiller*, est plus rapprochée de la lisière

méridionale que de la limite septentrionale du bassin. Il en résulte des pentes très différentes (fig. 310) ; tandis qu'au nord l'inclinaison oscille en moyenne entre 10° et 25°, au sud elle atteint 40° à 50°, ou même 70° à 80° ; sur quelques points elle est même verticale, sinon renversée.

Par contre, on ne voit presque nulle part des plis en zigzag comme dans le bassin de Valenciennes. Les plissements ne paraissent guère possibles en effet là où la roche dominante se compose de grès, et on n'en peut citer qu'un petit nombre d'exemples dans le terrain houiller de la Loire. Il y a néanmoins des preuves évidentes de compression latérale dans les froncements de couches qui se montrent en plusieurs points.

658. Accidents des couches. — L'allure générale du gisement est troublée par des accidents multiples qui opposent de sérieuses difficultés à la poursuite des travaux souterrains, car il n'est pas toujours aisé de fixer, d'une façon sûre, le parallélisme des couches de houille dans les diverses parties du bassin.

Les accidents les plus graves sont les nombreuses failles qui ont en quelque sorte haché le terrain dans tous les sens, en déplaçant souvent les assises. La plupart des grandes failles sont sensiblement rectilignes ; il y en a cependant de courbes, ou plus exactement de polygonales, formées par une série de failles droites peu étendues qui se rencontrent sous des angles très obtus. Elles sont en général orientées en faisceaux parallèles dont deux groupes surtout sont nettement définis : l'un est parallèle et l'autre perpendiculaire à l'axe du bassin. Les failles transversales sont les plus nombreuses et celles qui sont accompagnées des rejets les plus forts ; les failles longitudinales sont non seulement moins fréquentes, mais encore moins apparentes. Elles ont toutes une assez faible influence sur le relief du sol, parce que le terrain houiller a été soumis à une dénudation énergique qui a effacé presque partout les traces de ces accidents stratigraphiques.

D'autres accidents consistent dans les *variations de quantité et de puissance* des couches de charbon, les *étranglements* et les *brouillages*. Les premiers sont contemporains du dépôt ; les autres lui sont postérieurs.

Il est peu de couches où la qualité du charbon se maintienne uniformément sur toute son étendue et c'est là un des caractères qui distinguent le bassin de Saint-Etienne de celui de Valenciennes. Ainsi la grande couche de Rive-de-Gier se modifie graduellement de l'est à l'ouest : à l'extrémité orientale le charbon est dur, terne, à longue flamme et tient 33 à 34 pour 100 de matières volatiles ; au centre la houille est tendre, grasse et dégage 25 à 30 pour 100 de matières volatiles ; plus loin elle se rapproche de l'anthracite et les éléments volatils descendent à 24 et même 19 pour 100.

La puissance du charbon n'est pas moins variable, comme nous l'avons montré par les chiffres que nous avons donnés plus haut.

Les étranglements sont des accidents qui font éprouver au gîte houiller une solution de continuité plus ou moins complète, sans rejettement proprement dit. On les reconnaît à ce signe que le toit et le mur sont tous deux partiellement disloqués et que la couche elle-même, s'il en reste quelques traces, ne se compose plus que de charbon plus ou moins broyé. Tout indique une action mécanique énergique, peu différente en somme de celle qui a amené les failles. Le puits Bourret, à Rive-de-Gier, est tombé sur un amincissement de ce genre qui avait 25 à 30 mètres de largeur maxima et une longueur de 120 mètres.

Les brouillages consistent en un amas confus de débris de houille et de roches, sorte de conglomérat de frottement le long d'une cassure mal définie. De tous les accidents, ce sont les plus graves et les plus difficiles à traverser, car on n'a comme guide aucun plan de glissement. Le puits Saint-Philippe, creusé au Reclus, a traversé un de ces brouillages affectant toutes les couches sur une hauteur de 170 mètres.

659. Explication de la structure du bassin. — Grüner a indiqué avec une grande netteté les causes des mouvements qui ont donné au bassin de Saint-Etienne sa structure spéciale.

L'allure normale des assises et les failles longitudinales ont été, d'après cet éminent ingénieur, engendrées par un seul et même mouvement : c'est l'affaissement, tantôt lent, tantôt saccadé, du fond du bassin, affaissement qui a permis la forma-

tion successive des bancs de houille et l'accumulation des bancs de sable et de vase, transformés plus tard en grès et en schistes. Ce mouvement fut inégal sur les divers points du bassin : intense au sud, relativement faible au nord. Sur la lisière sud-est du bassin, les assises houillères ont dû s'affaisser en glissant le long du terrain ancien, rompu et bordé par une énorme faille. C'est la faille longitudinale par excellence, la *faille limite*, dont l'amplitude diminue aux deux extrémités, mais s'accroît considérablement au centre, auprès de la ville même de Saint-Etienne, où la puissance du dépôt houiller devient maximum.

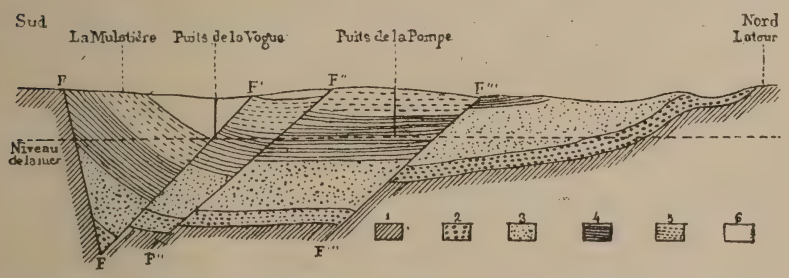


Fig. 311. — Coupe transversale du bassin de Saint-Etienne. — 1, terrain primitif; 2, brèche de la base; 3, 4, 5, 6, faisceaux houillers; FF, faille limite; F′F′, F″F″, F‴F‴, failles principales.

En s'affaissant entre deux massifs anciens, comme entre les mâchoires d'un immense étau qui inclinent l'une vers l'autre, le terrain houiller a dû se loger dans un espace de plus en plus étroit ; de là les effets de refoulement latéral que nous avons signalés ; de là aussi la forme en fond de bateau, les plis et inflexions des couches, etc.

Mais cet affaissement n'a pu s'opérer tout d'une pièce, sans fractures transversales, puisque son amplitude est plus grande au centre que vers les deux bouts. C'est ainsi que se sont formées les failles transversales qui tendent presque toutes à abaisser le sous-sol houiller aux environs de la ville de Saint-Etienne.

Il a pu d'ailleurs se produire encore d'autres mouvements. Ainsi il est très probable que le chaînon du Pilat a été surélevé à une époque relativement moderne et que le plateau

houiller de Saint-Etienne, dont l'altitude dépasse de 200 à 300 mètres les environs de Rive-de-Gier, a éprouvé un relèvement relatif fort important. L'affaissement graduel du sous-sol ancien n'a pas dû lui-même se manifester seulement pendant la durée de l'époque houillère, mais encore longtemps après, puisque les étages les plus élevés sont relevés, le long des bords du bassin, comme les étages inférieurs, quoique à un moindre degré. D'après cela il doit y avoir des failles d'âges différents.

Comme c'est sur la lisière méridionale que le terrain houiller a éprouvé les dislocations les plus considérables, par suite de l'énorme affaissement des assises le long de cette limite et du mouvement inverse qui a dû accompagner plus tard le soulèvement du Pilat, c'est là qu'on doit rencontrer le plus grand nombre de brouillages et d'étranglements. L'observation est sous ce rapport en accord complet avec la théorie.

660. Dommages causés par l'exploitation de la houille. — Après ce que nous avons dit précédemment (n°s 645 et 653), il serait fastidieux d'insister de nouveau sur les dommages causés à la surface du sol par l'exploitation de la houille. Nous nous contenterons de mentionner l'exemple de la gare de Saint-Etienne, où l'on a dû prendre des précautions spéciales pour se mettre à l'abri des inconvénients résultant des travaux souterrains.

L'emplacement de cette gare se trouve au-dessus d'une exploitation commencée en 1857 et qui a porté d'abord sur deux couches placées à 43 mètres de profondeur, ayant ensemble 4 m. 70 d'épaisseur et très rapprochées l'une de l'autre. Le dépilage était achevé en 1865; mais en même temps on entamait une couche de 3 mètres, à 260 mètres de profondeur, qui était dépilée en 1886. On remblayait d'ailleurs les vides avec soin.

De 1857 à 1880, le sol s'affaissa de 1 m. 80. Les tassements ayant sensiblement diminué depuis cette époque, la compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée se décida en 1884 à établir un bâtiment définitif pour les voyageurs à la place du bâtiment en bois qui était en très mauvais état.

Cette construction, entièrement en fer et briques, joint la légèreté à la rigidité. Elle repose sur des cadres métalliques

supportés par des murs de fondation, dans lesquels on a ménagé de distance en distance des niches destinées à loger des vérins. A peine était-elle terminée que des affaissements notables se manifestèrent et il fallut faire fonctionner les vérins pour la relever. Le vide au-dessus des murs de fondation fut ensuite rempli par de la maçonnerie de briques comprimées en laitier et chaux hydraulique.

§ V.

ÉTAGE PERMIEN.

661. Allemagne. — C'est en Allemagne, et notamment dans le Mansfeld (Saxe) où il est le plus régulièrement développé, que nous prendrons le type de l'étage permien. On y distingue deux sous-étages : le *grès rouge* et le *zechstein*. Le premier est une formation d'eau douce, le second une formation marine, ce qui justifie le nom de *dyas* donné à l'ensemble par MM. Marcou et Geinitz.

Grès rouge. — Le grès rouge, appelé par les mineurs allemands *rothe todtliegende* ou *mort-terrain rouge*, parce qu'il constitue le mur stérile des schistes cuivreux du zechstein, forme une série de couches puissantes de 500 mètres en moyenne, qui en Bavière peut atteindre 2.000 mètres ; il se compose de conglomérats, de grès et de schistes argileux. Grâce à la présence de l'oxyde de fer dans le ciment, les conglomérats ont généralement une couleur rouge caractéristique ; il en est de même des grès et ce n'est guère qu'à la partie supérieure qu'ils sont parfois décolorés.

Zechstein. — Le zechstein, ou *pierre de mine*, comprend d'abord à sa base une assise de *schiste noir*, bitumineux, très mince, mais remarquable par sa constance. Cette assise, très riche en minerai de cuivre que l'on exploite à Mansfeld, à Saalfeld, à Zaundorf, abonde en poissons et notamment en

Palæoniscus. Il est curieux de constater que plusieurs de ces poissons, au lieu d'être étalés sur la surface des schistes, sont tordus sur eux-mêmes comme s'ils avaient péri de mort violente, empoisonnés sans doute par les sources cuivreuses qui se faisaient jour dans la mer permienne.

Ensuite viennent successivement le *zechstein proprement dit*, calcaire argileux de 5 à 30 mètres d'épaisseur, nettement stratifié ; la *cargneule*, dolomie caverneuse, rude au toucher, qui passe à des *cendres* ou dolomie meuble ; puis des *calcaires fétides*, gris ou jaunes, avec des glaises et des argiles brunes, de l'anhydrite, du gypse et des sels alcalins.

Les fossiles se rencontrent surtout dans le zechstein proprement dit ; les plus caractéristiques sont le *Productus horridus* et le *Spirifer undulatus*.

A Höhneburg, dans le pays d'Eisleben, les amas d'anhydrite que renferme le zechstein ont produit des contournements très accentués dans les couches de grès bigarré triasique qui lui sont superposées (fig. 312). En se transformant en gypse

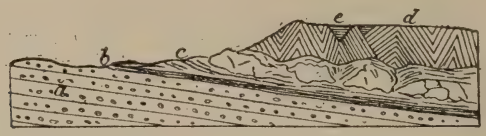


Fig. 312. — Bouleversements des couches dans le grès bigarré de Höhneburg (d'après Credner). — *a*, rothliegende ; *b*, schiste cuivreux et zechstein ; *c*, dolomie et glaise avec amas de gypse et d'anhydrite ; *d*, grès bigarré ; *e*, effondrement.

sous l'action des eaux d'infiltration, ces amas se sont gonflés et ont déterminé dans le grès des plissements et des dislocations analogues à ceux qui affectent les schistes primaires de la vallée de la Meuse. Comme le grès rouge et le schiste cuivreux ont conservé la régularité de leur allure, il est évident que la cause de ce phénomène a son siège dans les couches qui séparent ce dernier schiste du grès bigarré.

662. Gisement salifère de Stassfurt. — Le célèbre gisement salifère de Stassfurt (fig. 313) appartient à la partie

supérieure du zechstein. On peut le diviser en quatre zones successives qui sont à partir de la base :

1° Une zone de *sel gemme pur*, dont la profondeur est encore inconnue et qu'on a traversée sur une épaisseur de 200 mètres ; elle est partagée en plusieurs bancs par des lits d'anhydrite ayant de $0^m,08$ à $0,^m16$;

2° Une zone de sel impur de 66 mètres de puissance, dans laquelle le sel gemme est mêlé de chlorure de magnesium et où se développe, à mesure que l'on s'élève, la *polyalite*, ou sulfate triple de potasse, de chaux et de magnésie ;

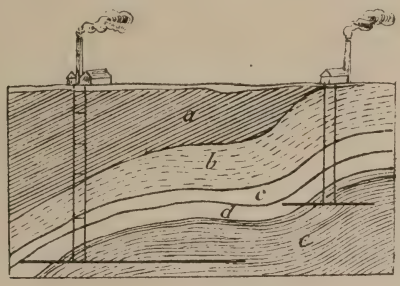


Fig. 313. — Coupe du gisement de sel de Stassfurt. — *a*, grès bigarré du trias; *b*, gypse ; *c*, argile schisteuse; *d*, zones de la carnallite et de la kieserite ; *e*, zones de la polyalite et du sel gemme.

3° Une troisième zone de 60 mètres, dans laquelle prédomine la *kieserite*, sulfate de magnésie monohydraté ;

4° Une zone supérieure, de 45 mètres, dont l'élément principal est la *carnallite*, chlorure double de potassium et de magnésium hydraté, en assises parfaitement stratifiées, alternant avec des couches de sel gemme et de kieserite.

Ce gisement, que l'on a rencontré en d'autres points et notamment à Sperenberg où un sondage de 1.269 mètres de profondeur n'a pu le traverser complètement (n° 95), a une très grande importance au point de vue agricole et au point de vue industriel. Sa mise en exploitation a amené une véritable perturbation dans le commerce des sels de potasse, dont les prix ont considérablement baissé.

Il est difficile d'admettre qu'une aussi énorme masse ait une origine exclusivement sédimentaire et soit le résidu de

l'évaporation lente d'une mer intérieure. Si les sels déliquescents que l'on trouve à la partie supérieure du bassin de Stassfurt présentent de grandes analogies avec ceux que l'on obtient dans le traitement industriel des eaux-mères des marais salants, il y a d'assez grandes divergences d'allure et de composition qui ne permettent pas de rendre l'assimilation complète. Nous citerons notamment la substitution d'un sulfate de chaux anhydre au gypse, les alternatives régulières d'anhydrite et de sel gemme dans toute la partie inférieure du gisement, la présence de l'oxyde de fer anhydre et d'un sel double de borate de soude et de chlorure de magnésium, dit *stassfurtite*, dans les zones supérieures.

Il est très probable, ainsi que l'a fait ressortir M. E. Fuchs, que ces dépôts salins sont dus à l'action combinée d'émanations internes et de la sédimentation et qu'ils ont ainsi une origine mixte.

On sait en effet que les émanations volcaniques renferment comme éléments principaux, outre la vapeur d'eau, des chlorures, du soufre avec ses produits volatils, de l'acide borique, etc. Des émanations semblables ont pu arriver, sous forme de gaz ou de sources thermales, dans une sorte de bassin occupé par une lagune d'eau salée. La température de ce bassin s'est élevée rapidement, il s'est produit une évaporation active, et des matières salines se sont précipitées. On conçoit que la nature de ces dépôts successifs a dû varier avec l'activité plus ou moins grande des émanations, avec leur température et avec leur composition. Puis, à la suite d'un mouvement du sol, sont arrivées des quantités considérables d'eaux boueuses qui ont formé un manteau protecteur au-dessus du gisement salin.

663. France. — Sauf dans les Vosges où nous l'étudierons quand nous décrirons ce massif montagneux, l'étage permien ne se trouve en France qu'en lambeaux de faible étendue.

L'un des plus intéressants de ces lambeaux est celui de l'Autunois. Là il est superposé au terrain houiller auquel il se lie intimement, non seulement par ses caractères lithologi-

ques, mais aussi par la flore de ses couches inférieures, qui est presque exclusivement houillère. Cette formation est essentiellement schisteuse et comprend quelques bancs de grès à grain fin ; sa faune se compose de poissons, de sauriens, de batraciens dont la plus grande partie ont été décrits par M. Gaudry. Elle correspond à la partie inférieure du permien d'Allemagne, si même elle n'est pas plus ancienne ; le zechstein y manque complètement, comme partout d'ailleurs en France.

On exploite dans le permien des environs d'Autun des couches de boghead, ou schiste bitumineux, pour en extraire le bitume par la distillation. C'est une industrie qui est en voie de décroissance, par suite de la concurrence redoutable des produits similaires et notamment du pétrole.

Dans les environs de Lodève (Hérault), l'étage permien est remarquable par les belles empreintes de fougères et de *Walchia* que l'on trouve dans des schistes micacés à grain fin.

664. Russie. — Les couches permiennes s'étendent en stratification régulière, presque horizontale, dans toute la partie orientale de la Russie d'Europe, sur une surface double de celle de la France. On y retrouve les deux divisions du permien d'Allemagne ; l'inférieure, qui correspond au *rothliegende*, consiste essentiellement en grès rouges, bruns et gris avec marnes et en conglomérats et renferme surtout des plantes terrestres ; la division supérieure, formée d'argiles, de calcaires et de marnes, est l'équivalent du zechstein et présente principalement des fossiles marins, notamment des *Productus*.

Mais la localisation de ces restes organiques n'est pas aussi absolue qu'en Allemagne, car on rencontre des calcaires à *Productus* intercalés dans les roches de la division inférieure, de même que des grès à plantes terrestres dans les couches marines du zechstein.

Les grès sont cuprifères sur de très grandes étendues dans les districts de Perm et d'Ekaterinenbourg. Le minerai y est généralement oxydé, accidentellement sulfuré ; tantôt il forme le ciment de la roche arénacée, tantôt il se présente en pous-

sières ou en nodules et sur les parois des fentes ; il se concentre volontiers autour des restes de calamites que renferme le grès.

Dans les environs d'Orenbourg, les imprégnations cuivreuses se sont étendues jusque dans les grès triasiques, de même constitution lithologique que les grès permiens, mais dont l'âge est fixé par les fossiles que l'on y rencontre (*Estheria minuta*, *Voltzia heterophylla*, *Equisetum arenaceum*).

Il y a aussi dans le zechstein russe des couches de lignite et des amas de gypse et de sel gemme.

CHAPITRE XVI.

ÈRE SECONDAIRE. — PÉRIODE TRIASIQUE.

§ I. Généralités sur l'ère secondaire. — § II. Caractères de la période triasique. — § III. Trias lorrain. — § IV. Noyau central des Vosges. — § V. Massif des Maures et de l'Esterel. — § VI. Types divers du trias.

§ I.

GÉNÉRALITÉS SUR L'ÈRE SECONDAIRE.

665. Caractères paléontologiques. — La faune de l'ère primaire était essentiellement marine et ce n'est guère que dans la dernière période que se développent les animaux terrestres. Dans l'ère secondaire, nous voyons la vie se répandre de plus en plus sur les continents et dans les airs ; les reptiles, qui n'étaient représentés jusque-là que par un petit nombre de genres, se montrent avec une richesse de formes dont la nature actuelle ne peut nous donner aucune idée, et ne tardent pas à régner en maîtres à la surface du globe ; bientôt apparaissent des mammifères inférieurs, puis des oiseaux avec des caractères mixtes qui les rapprochent des reptiles.

Au nombre des animaux typiques du groupe secondaire, nous citerons les ammonites et les bélemnites, que l'on classe parmi les céphalopodes les plus parfaits. Les ammonites sont si nombreuses et si variées que d'Omalius d'Halloy avait proposé de désigner ce groupe sous le nom de *terrains ammo-*

néens ; elles le caractérisent encore mieux que ne font les trilobites pour les terrains primaires.

La végétation n'a plus à beaucoup près autant d'activité qu'à l'époque houillère ; elle ne reprend quelque ampleur que vers la fin de l'ère. Les cryptogames acrogènes continuent à décroître. La prépondérance appartient surtout aux cycadées et aux conifères, qui s'accommodent mieux des conditions de sécheresse relative qui vont succéder au climat humide des périodes précédentes. Puis vers la fin prennent naissance des monocotylédones et des dicotylédones angiospermes, précurseurs de la flore tertiaire.

En somme, quoique les couches secondaires aient une puissance totale beaucoup moindre que celle des couches primaires, elles renferment des restes organiques bien plus variés, sinon plus abondants.

666. Caractères physiques. — Les éruptions, très actives pendant toute la durée de l'ère primaire, interrompent leur jeu peu après le début de l'ère secondaire pour ne le reprendre que tout à la fin. Les mouvements de dislocation, qui avaient si fortement affecté les assises précédentes, deviennent rares ; il ne se produit plus guère que des exhaussements et des affaissements lents, qui font que la mer se retire de certains points ou envahit de nouveau des régions qu'elle avait abandonnées.

La tranquillité de cette ère est d'ailleurs attestée encore par la rareté relative des conglomérats et par l'énorme puissance des masses calcaires.

A part quelques cas peu fréquents de métamorphisme, les couches secondaires ont à peu près conservé, sans modification, leurs caractères et leur aspect primitifs. Si les roches de couleurs sombres ou bigarrées dominent encore à la base, elles deviennent de plus en plus rares à mesure que l'on s'élève dans le groupe.

667. Divisions du groupe secondaire. — On s'accorde généralement à diviser le groupe secondaire en quatre systèmes, dont les noms sont empruntés à des particularités

pétrographiques : 1° le *système triasique* ou *trias ;* 2° le *système liasique* ou *lias ;* 3° le *système oolithique* ou *oolithe ;* 4° le *système crétacé*. On réunit quelquefois le lias et l'oolithe en une série appelée *série jurassique*, à cause du beau développement qu'elle offre dans les montagnes du Jura.

§ II.

CARACTÈRES DE LA PÉRIODE TRIASIQUE.

668. Division du trias en étages. — Le *trias* est ainsi nommé parce qu'on peut le diviser en trois parties qui se séparent très nettement les unes des autres dans les régions classiques du centre de l'Europe où on l'a étudié pour la première fois. Voici quels sont ces trois termes en Allemagne et en Lorraine :

3. Marnes irisées ou *Keuper*.
2. Calcaire coquillier ou *Muschelkalk*.
1. { Grès bigarré ou *Bunter Sandstein*.
   { Grès vosgien ou *Vogesen Sandstein*.

On donne à la première partie le nom d'*étage vosgien*, parce qu'elle est bien développée dans les Vosges ; à la seconde, celui d'*étage conchylien*, à cause de sa richesse en coquilles ; à la troisième, celui d'*étage saliférien*, parce qu'elle se signale en Lorraine et dans le Jura par la présence du sel gemme.

Au point de vue minéralogique, cet ensemble est caractérisé par ses nuances souvent vives, par ses couleurs bariolées, indices d'émanations internes dont on retrouve encore les traces dans les nombreux filons qui traversent le trias, dans les imprégnations de matières métalliques, dans les amas de gypse, de sel gemme, de dolomie.

L'étage moyen est une formation marine ; les deux autres sont des formations principalement lacustres.

Mais on ne retrouve pas partout les mêmes divisions, et ce type du trias n'est que l'un des faciès sous lesquels il se présente. Sur des régions très étendues, dans les Alpes notamment, le trias a des caractères tout différents et ses couches sont exclusivement marines.

669. Faune triasique. — La faune triasique présente encore quelques formes paléozoïques, mais qui ne tarderont pas à s'éteindre, en sorte qu'il y a un renouvellement à peu près complet des êtres, qui deviennent bien différents de ce qu'ils étaient auparavant. C'est encore une faune de transition, qui se rattache toutefois, par l'ensemble de ses caractères, plutôt à l'ère secondaire qu'à l'ère primaire. Il semble que la vie, qui jusque-là avait décliné, se ranime tout d'un coup.

Vertébrés.— Les *Labyrinthodontes*, batraciens qui avaient commencé leur existence dans la période carbonifère, atteignent ici le maximum de leur développement ; d'assez faible taille jusque-là, ils prennent des dimensions énormes, puisqu'on a trouvé des crânes mesurant jusqu'à $1^{m},30$ de longueur.

Le plus commun de ces animaux est le *Cheirotherium*, dont on rencontre souvent les empreintes de pas, à cinq doigts disposés comme ceux de la main humaine, sur les grès vosgiens (fig. 192, tome I). Quoi qu'on n'en ait retrouvé que la tête, le bassin et une partie de l'omoplate, Owen a pu le re-

Fig. 314. — *Cheirotherium* restauré.

constituer (fig. 314) ; ses pieds de devant étaient moins grands que ceux de derrière, ainsi qu'en témoignent les empreintes de pas.

Les reptiles avaient également apparu vers la fin de la période carbonifère. Ils continuent leur évolution dans le trias ; ce sont de véritables sauriens nageurs, peu nombreux encore à la vérité, comme le *Nothosaurus*, espèce de crocodile marin qui semble préparer la venue de ces énormes sauriens qui signaleront plus tard la période jurassique.

Le règne des poissons placoïdes se termine pendant la période triasique. La queue des ganoïdes est moins dissymétrique ; l'ossification de la colonne vertébrale a fait des progrès ; cependant les vrais poissons osseux n'existent pas encore. L'un de ces genres, le *Ceratodus*, s'est conservé jusqu'à nos jours, où il vit encore dans les rivières de l'Australie ; il appartient au groupe des *dipnoés*, qui, en outre des branchies, sont munis de poumons et peuvent ainsi respirer dans la vase desséchée.

Crustacés. — Les articulés ne sont guère représentés que par de petits crustacés du genre *Estheria* (fig. 315), dont le corps est entouré d'une coquille bivalve et que l'on a confondus avec le *Posidonia*, mollusque de la classe des acéphales. Ils abondent dans certaines couches des marnes irisées.

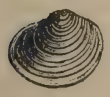


Fig. 315. — *Estheria minuta.*

Mollusques. — L'un des traits les plus saillants de la faune triasique est la présence des *cératites*, qui appartiennent à la famille des *ammonitides.*

Les ammonitides constituent parmi les céphalopodes une famille à part, qui s'éteint complètement à la fin de l'ère tertiaire. Elles ont des coquilles cloisonnées, enroulées dans un plan, comme les nautiles et les goniatites, mais plus ornées et avec une plus grande complication dans les cloisons. On les appelait autrefois *cornes d'Ammon*, du nom de Jupiter Ammon qu'on révérait en Lybie et qu'on représentait avec des cornes enroulées comme celles d'un bélier. La place des cloisons est indiquée sur le moule interne de ces coquilles, seule partie de l'animal qui soit généralement préservée à l'état fossile, par une suture dont la forme permet d'établir plusieurs groupes dans cette grande famille. Tandis que dans les nautiles la suture est circulaire et que dans les goniati-

tes elle décrit une ligne brisée à angles aigus, cette suture présente chez les ammonitides des lobes et des sinus rentrants et chacun de ces lobes ou de ces sinus est lui même déchiqueté

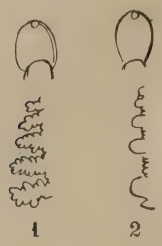


Fig. 316. — Lignes suturales des ammonites proprement dites (1) et des cératites (2).

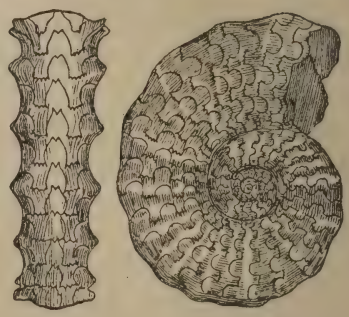


Fig. 317. — *Ceratites nodosus.*

comme des feuilles de persil (fig. 316). Les cératites, qui établissent la transition entre les goniatites et les véritables ammonites à coquilles enroulées en spirale régulière, ont des lignes suturales assez simples; la complication est beaucoup plus grande dans les autres groupes qui comprennent les ammonites proprement dites. La famille des ammonitides, comme celle des nautilides, offre d'ailleurs une grande variété de formes due au mode d'enroulement de la coquille.

Parmi les brachiopodes, les spirifères se montrent encore et se prolongent jusque dans le lias, mais en se transformant. Les *Productus*, autre type paléozoïque, se montrent pour la

Fig. 318. — *Terebratula vulgaris.*

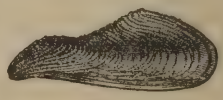


Fig. 319. — *Gervillia socialis.*

dernière fois. Le *Terebratula vulgaris* du muschelkalk (fig. 318) est le brachiopode le plus commun.

La classe des acéphales est bien représentée et prime toutes les autres dans l'embranchement des mollusques. La famille des *ostracées* ou huîtres, qui doit prendre une si grande importance dans le jurassique et le crétacé, apparaît pour la première fois, concurremment avec d'autres bivalves des genres *Pecten*, semblable au peigne de nos mers ; *Gervillia* (fig. 319), à coquille allongée très obliquement ; *Myophoria* (fig. 320),

Fig. 320. — *Myophoria vulgaris.*

type exclusivement triasique, de forme triangulaire arrondie, qui se rapproche des trigonies si abondantes dans le jurassique, mais en diffère par la simplicité de la coquille ; *Lima*, auriculé comme le peigne, mais plus inéquilatéral ; *Cardita*, à coquille arrondie ou oblongue, inéquilatérale, ornée de côtes rayonnantes, etc.

Fig. 321. — *Encrinus liliiformis.*

Crinoïdes. — Les crinoïdes ne présentent pas une aussi grande variété que dans la période carbonifère, où ils ont atteint leur apogée. Mais ils compensent cette pauvreté de formes par l'abondance extraordinaire des individus, dont les débris sont parvenus à constituer dans certaines localités des couches entières de muschelkalk. L'un des crinoïdes les plus remarquables est l'*Encrinus liliiformis* (fig. 321), composé d'une tige longue et d'un calice assez court qui supporte des bras formés d'une double série de pièces alternes. Toutefois, l'animal entier est rare.

670. Flore triasique. — La flore triasique n'a pas de caractères très nettement tranchés et elle se compose des mêmes familles que les flores antérieures.

Les fougères sont encore très abondantes et constituent des genres actuellement détruits, qui ne se retrouvent même plus dans les terrains plus récents, comme les *Anomopteris*, les *Crematopteris*, avec une espèce caractéristique de *Nevropteris*, le *N. elegans*.

Dans la famille des *équisétacées*, les *Equisetum* rappellent les calamites par leur taille, bien qu'ils ressemblent davantage aux prêles par leur organisation.

Outre les fougères arborescentes, les conifères et les cycadées abondaient dans les forêts triasiques. Le *Voltzia*, genre typique de la famille des conifères, analogue au cyprès actuel, se distingue par ses feuilles alternes, en spirale, formant cinq

Fig. 322. — *Voltzia heterophylla.*

Fig. 323.
Pterophyllum Pleiningerii.

à huit rangs, et ses cônes oblongs, à écailles lâchement imbriquées, cunéiformes (fig. 322). Le *Pterophyllum* (fig. 323), cycadée à feuilles de fougère, se montre pour la première fois.

Les équisétacées et les conifères dominent à la base du

trias, tandis qu'à la partie supérieure ce sont les cycadées. Aussi on admet quelquefois dans cette période deux flores distinctes : la première, correspondant à l'étage vosgien, a des traits communs avec celle du permien ; la seconde, renfermée dans le saliférien, se rapproche de la végétation jurassique.

671. Distribution géographique du trias. — Le trias occupe de vastes espaces dans le centre de l'Europe, en Allemagne et dans l'est de la France, où il présente les trois étages qui lui ont fait donner son nom. On le retrouve en quelques autres points de notre pays, mais avec un moindre développement, autour du Plateau Central, dans le Var, dans les Pyrénées, dans les Alpes. Il existe également en Angleterre, en Espagne, dans l'Amérique du Nord, sous le même aspect qu'en Lorraine, sauf que le muschelkalk y manque souvent. Tous ces dépôts sont des formations de rivages, de lacs ou de mers intérieures.

Dans les Alpes orientales, le trias, comme nous l'avons déjà dit, a un aspect tout différent. Là il s'est formé dans une vaste mer dont le fond a ensuite subi un soulèvement considérable ; il consiste en couches très puissantes, remarquables par l'association des formes organiques secondaires avec des formes paléozoïques qui ont subsisté dans cette région plus longtemps qu'ailleurs. On l'a signalé avec le même faciès et plusieurs fossiles identiques dans la Sierra Nevada en Californie, au Spitzberg, au nord de la Sibérie, à la Nouvelle-Zélande et dans l'Himalaya.

Ce trias alpin est, si l'on peut s'exprimer ainsi, le type du vrai trias. Il est au trias lorrain ce que le dévonien calcaire du Devonshire est au vieux grès rouge de l'Ecosse.

§ III.

TRIAS DE LA LORRAINE.

672. Disposition des trois étages du trias. — Le massif montagneux des Vosges, qui s'élève entre les plaines ondulées de l'Alsace, de la Lorraine et de la Franche-Comté pour se prolonger au nord jusque dans la Bavière rhénane, comprend deux parties bien distinctes au point de vue géologique : au sud, un noyau central formé de montagnes arrondies, qui s'étend de Giromagny dans la Haute-Saône aux environs de Saint-Dié dans le département des Vosges, et qui est composé de terrain primitif et de roches ignées avec quelques lambeaux de terrains primaires ; dans toute la région septentrionale et autour de ce noyau, des montagnes aplaties, à formes carrées, consistant en grès vosgien.

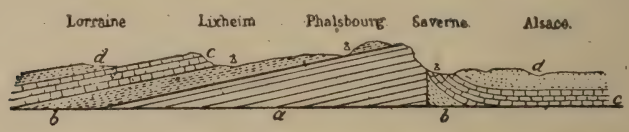


Fig. 324. — Coupe du trias d'Alsace-Lorraine (Elie de Beaumont). — *a*, grès des Vosges ; *b*, grès bigarré ; *c*, muschelkalk ; *d*, marnes irisées.

A ce grès succèdent, quand on descend les dernières pentes des Vosges aussi bien à l'est qu'à l'ouest, les grès bigarrés, le muschelkalk et les marnes irisées. Mais sur le versant français les zones d'affleurement de ces dernières assises sont beaucoup plus larges que du côté de l'Alsace. La disposition relative des couches triasiques est indiquée par la figure 324, qui montre en même temps l'allure de la grande faille qui a disloqué le massif en amenant le muschelkalk au contact du grès des Vosges.

Cette faille a déterminé un escarpement qui domine la ville

de Saverne d'une hauteur de 200 mètres, chiffre qui donne à peu près la mesure du glissement par suite duquel la Lorraine se trouve élevée au-dessus de l'Alsace. On peut la suivre sur une longuenr d'une centaine de kilomètres, parallèlement à la vallée du Rhin depuis Pirmasens au nord dans la Bavière rhénane jusqu'à Saales, avec cette circonstance curieuse que vers le midi c'est son côté oriental qui est le plus bas, tandis que c'est le contraire vers le nord. Élie de Beaumont en conclut qu'elle existait avant le dernier glissement qui s'est produit à Saverne.

Nous allons étudier les différentes assises du trias en nous dirigeant de l'axe culminant des Vosges vers les plaines de la Lorraine. Nous laisserons pour le moment de côté le noyau central du midi sur lequel nous reviendrons plus tard.

673. Grès vosgien. — Au-dessus des grès rouges qui constituent le permien et dont nous parlerons plus loin (n° 683), se trouve une assise puissante de grès vosgien, qui atteint jusqu'à 500 mètres d'épaisseur près de Raon-l'Étape. Pendant longtemps on a rattaché ce grès à l'étage permien, en se basant sur une discordance de stratification qu'on croyait avoir observée entre ses dernières couches et le grès bigarré ; mais en réalité cette discordance n'existe pas et il est rationnel de réunir sous le nom d'étage vosgien deux assises gréseuses qui ont les mêmes caractères paléontologiques.

Le grès des Vosges a des caractères assez constants dans tout l'espace qu'il embrasse. C'est un grès grossier, à grains de quartz assez souvent cristallisés et offrant des facettes qui miroitent au soleil d'une manière caractéristique, dont la grosseur varie depuis celle d'un petit grain de millet jusqu'à celle d'un grain de chénevis et dont la surface est généralement recouverte d'un enduit d'oxyde rouge de fer, ou quelquefois d'oxyde hydraté jaune. Il n'a pas de ciment apparent comme le grès rouge permien, de sorte qu'il est souvent friable et mérite ainsi le nom de *pierre de sable* sous lequel on le désigne dans le pays. Au milieu des grains quartzeux, on observe dans quelques variétés de très petits amas d'argile blanchâtre, qui paraissent provenir de la décomposition du feldspath.

Plus rarement on trouve des paillettes de mica, dispersées irrégulièrement dans la masse.

La couleur du grès des Vosges, due presque toujours à l'oxyde de fer, est le plus souvent un rouge brique pâle, qui, dans certains endroits, devient très foncé et qui, dans d'autres cas, passe au rouge violet, au blanc et au blanc jaunâtre, en formant même des bandes parallèles ou des taches. La variation de la nuance est fréquemment accompagnée d'une variation dans la solidité.

Les bancs de grès vosgien, dont l'épaisseur varie de $0^{m}50$ à 1 mètre, sont bien séparés les uns des autres et se distinguent par des nuances de couleur, par de petites différences dans le grain ou la cohésion, par la faculté plus ou moins grande de résister aux intempéries, par la présence en plus ou moins forte quantité de galets qui peuvent donner lieu à un véritable poudingue à base de grès.

Ces poudingues se trouvent surtout dans les régions où le grès des Vosges est le plus épais, comme à Raon-l'Étape. Leurs galets, qui doivent provenir de la destruction, presque sur place, de terrains ayant fait partie du massif ancien des Vosges, sont presque toujours quartzeux ; ils consistent parfois, notamment aux environs d'Épinal, en fragments de granite, de leptynite et de gneiss plus ou moins décomposés.

Les restes organiques sont très rares dans l'assise du grès vosgien. On n'y a guère rencontré que des empreintes de tiges d'*Equisetum* ou de feuilles. Les débris de coquilles, comme les *Productus* et les *Spirifer* renfermés dans l'intérieur des galets, sont étrangers à la formation.

Le grès des Vosges, qui constitue toute la partie septentrionale du massif montagneux, forme en outre autour du noyau de la région méridionale une ceinture continue, très étroite du côté de l'est, très large du côté de l'ouest et s'élevant par des pentes assez régulières jusqu'aux roches anciennes qui composent ce noyau. On ne peut aborder l'axe culminant des Vosges sans traverser sur une plus ou moins grande largeur ces grès, dans lesquels sont taillées les vallées et qui sont découpés par de nombreuses fissures, affectant deux directions à peu près rectangulaires.

Ces vallées étroites, profondes, sont flanquées de pentes très abruptes, qui montrent souvent des escarpements, surtout dans les poudingues, et même des surplombs d'un aspect pittoresque. Une même montagne peut présenter plusieurs talus et plusieurs escarpements successifs ; cette circonstance est due aux variations de résistance qu'offrent les différentes couches. Le sommet de la montagne est parfois tout à fait arrondi ; d'autres fois il est couvert de blocs amoncelés formés des parties les plus solides des grès. Très souvent aussi, les agents destructeurs, en arrondissant ou en abaissant le sommet, y ont laissé, comme des témoins de sa première hauteur, des rochers stables et taillés à pic ; par leurs formes carrées, les lignes horizontales qui s'y dessinent, ces rochers prennent un aspect de ruines qui s'allie assez heureusement avec celui des restes de vieux châteaux dont plusieurs sont en effet couronnés. Quelques-uns d'entre eux ont même fourni les fondements et pour ainsi dire l'esquisse d'un château qu'on a taillé en grande partie dans sa masse et qui semble associé à sa durée.

Les fissures qui traversent le grès vosgien en ont souvent détaché, en s'agrandissant, de gros fragments ; ce qui explique les faces verticales qui terminent les sommets.

La profondeur des vallées, les contours anguleux des montagnes, la couleur uniformément rouge des roches et des terres donnent ainsi aux paysages vosgiens un aspect inoubliable, en partie continué par la zone des grès bigarrés qui succède à celle des grès des Vosges.

Le grès vosgien a subi, comme on voit, de nombreuses dégradations dues aux actions atmosphériques et favorisées par la présence de nombreuses cassures. Il a été soumis, en outre, à de puissantes érosions et on peut estimer à quelques centaines de mètres l'épaisseur de roche enlevée par les eaux ; ce chiffre donne une idée de la masse énorme de débris arrachés au massif pour constituer des alluvions à la surface des autres formations.

Le sol qui résulte de la désagrégation de ce grès consiste presque exclusivement en sable ; il est remarquable par son extrême mobilité et partout où la pente dépasse 30 degrés, il

coule sous l'action des eaux. Dans les vallées étroites, il est formé par du sable plus siliceux même que la roche qui lui a donné naissance ; ce n'est que dans les vallées un peu élargies ou dans les coudes où des remous pouvaient se produire que l'on trouve des terres un peu argileuses et que la culture du seigle, de l'avoine, des pommes de terre, est possible. Partout ailleurs, le sol est trop pauvre pour être propre à autre chose qu'à la production du bois. L'épicea et le sapin argenté sont les essences dominantes ; le hêtre est rare, mais devient plus abondant à mesure que l'on descend vers la plaine ; quant au chêne, il ne vient que dans les fonds à sol profond. On a fait depuis une cinquantaine d'années un assez grand nombre de plantations de pin sylvestre.

Les eaux qui s'infiltrent à travers le grès vosgien, grâce surtout à la présence des fissures, ne trouvant presque rien à y dissoudre, on comprend que les sources doivent être d'une pureté exceptionnelle ; d'après M. Braconnier, elles ne renferment pas plus de 10 centigrammes par litre de principes fixes ; souvent même elles en contiennent beaucoup moins. Comme il n'y a dans le grès aucune couche imperméable susceptible de supporter une nappe d'eau, ces sources se rencontrent à toute hauteur, suivant l'importance des massifs découpés par les vallées et leur degré de fissuration. A la suite des pluies, le réseau de fissures se remplit et les sources remontent sur les flancs des collines ; après la belle saison, ce réseau s'étant vidé, les sources ne se rencontrent plus qu'au fond des vallées les plus profondes. Malgré leur pauvreté en substances minérales, les moindres filets d'eau sont utilisés pour l'irrigation des prairies ; la qualité est ici remplacée par la quantité et on arrive à doubler les produits, qui toutefois sont peu nourrissants.

Les couches de houille que l'on exploite dans la Lorraine allemande sur le prolongement du bassin de Sarrebrück sont recouvertes par une masse, de plus de 100 mètres d'épaisseur, de grès des Vosges très fissurés et remplis d'eau depuis la surface jusqu'au terrain houiller, en sorte que cette eau agit avec une pression de 10 atmosphères. En 1858, on avait déjà dépensé sans succès 21 millions de francs pour exécuter des puits à travers ces couches perméables, et ce n'est que par l'ap-

plication du fonçage à niveau plein avec cuvelage en fonte, suivant le procédé Kind et Chaudron, que l'on a pu surmonter les difficultés que créait cette situation défavorable.

674. Grès bigarré. — Le grès bigarré dessine autour du grès vosgien une zone presque continue ; mais il ne pénètre pas dans les Vosges montagneuses, dont il se contente de continuer les vallées avec des pentes affaiblies et des escarpements moins accusés. Son épaisseur, beaucoup moindre que celle du grès vosgien, ne dépasse guère une soixantaine ou tout au plus une centaine de mètres.

C'est aussi un grès quartzeux à grain fin, solide, le plus souvent de couleur rouge, mais quelquefois aussi bigarré de blanc, de bleuâtre, de violet, de verdâtre. Il se distingue du grès des Vosges par la finesse de son grain et par l'abondance d'un ciment argileux et de grains feldspathiques en décomposition ; il ne renferme pas de gravier ni de cailloux. La plupart des couches sont très micacées.

Dans plusieurs localités, notamment à Soultz-les-Bains et aux environs de Plombières, le grès bigarré est fossilifère. On y a signalé une vingtaine d'espèces végétales consistant en fougères, *Equisetum*, *Voltzia heterophylla*, etc., et des restes de vertébrés. Certaines couches sont remplies de tiges aplaties d'*Equisetum* (fig. 325) transformées en oxyde de fer, qui forme aussi dans ces grès des dessins extrêmement variés. Près de Cirey et en quelques autres points, on trouve assez souvent dans un grès ocreux des fossiles identiques à ceux du muschelkalk, tels que le *Trigonia vulgaris*, des *Myophoria* de diverses espèces, etc.

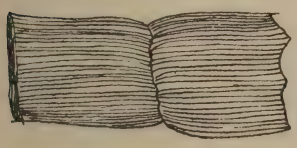


Fig. 325. — *Equisetum arenaceum.*

On peut diviser le grès bigarré en quatre assises :

4. Argiles schisteuses bariolées et micacées.
3. Grès schisteux, micacé, avec lits d'argile bariolée.
2. Grès micacé en couches minces.
1. Grès en bancs puissants d'un rouge amarante.

L'assise inférieure forme ce que l'on appelle la *haute masse* ;

les bancs y sont puissants, peu fissurés et réguliers. Ils fournissent d'excellents matériaux, exploités dans une multitude de carrières, et on peut en tirer des blocs de toutes dimensions, d'un grain fin et bien égal, qui se prêtent mieux aux sculptures délicates que le grès des Vosges, plus grossier de grain et plus friable. M. Daubrée a remarqué à ce sujet que les parties les plus anciennes de la cathédrale de Strasbourg, la crypte et la partie byzantine de l'aile septentrionale, sont en grès vosgien, tandis que la nef et les riches sculptures de la façade et de la tour sont en grès bigarré. Ces pierres sont d'une belle conservation et ne présentent d'autre inconvénient qu'un peu de porosité.

La haute masse se reconnaît souvent de loin à sa tendance à former des escarpements, alors que les couches qui lui sont superposées constituent des pentes douces et des plateaux.

La seconde assise est exploitée pour la fabrication de meules à aiguiser qui s'expédient au loin. On en fait également des moellons qui peuvent être utilisés comme briques réfractaires, et des pavés qui sont venus jusqu'à Paris faire concurrence au grès de Fontainebleau.

La troisième assise se compose de bancs minces et irréguliers, parfois assez fissiles pour qu'on puisse en faire des tuiles plates destinées à la couverture des maisons, notamment dans les environs de Plombières. Ces bancs sont séparés par des lits minces de schiste argileux ou d'argile bariolée micacée, qui servent à la fabrication des briques et des tuiles.

L'assise supérieure, de faible épaisseur, formée d'argile schisteuse et bariolée, contient quelquefois de la dolomie et des dépôts de gypse qui préparent la transition au muschelkalk.

La zone du grès bigarré est une région à plateaux dont les roches, hygrométriques, un peu argileuses, sont beaucoup moins rebelles à la culture que celles du grès vosgien. Le blé peut venir sur les sols résultant de sa désagrégation ; toutefois il ne donne pas un fort rendement. Les forêts recouvrent encore de vastes étendues ; outre des essences résineuses, on y trouve le charme, le hêtre, le bouleau.

Malgré sa porosité assez sensible, le grès bigarré, comme le fait observer M. Braconnier, ne laisse passer les eaux d'infil-

tration qu'avec une extrême lenteur. Les lits irréguliers de schiste argileux qu'il renferme contribuent à son imperméabilité ; aussi les étangs sont-ils nombreux à sa surface. Les eaux ne s'y infiltrent guère que grâce aux fissures verticales, parallèles aux failles, dont le grès est plus ou moins sillonné et qui s'arrêtent le plus souvent sur les lits argileux. En raison de l'irrégularité de ces lits qui retiennent les eaux, la situation des nappes aquifères est très variable, mais en général on les trouve toujours à de faibles profondeurs sous les plateaux. Les sources sont notablement plus chargées de principes minéraux que celles du grès des Vosges ; leur teneur généralement assez élevée en carbonate de chaux semble dénoter que sous les plateaux et en profondeur, les grès sont plus calcaires que ceux que l'on exploite dans les carrières près de la surface.

675. Muschelkalk. — Après la zone rougeâtre du grès bigarré vient une bande de 10 à 40 kilomètres de largeur formée par les affleurements gris jaunâtre du muschelkalk, ou étage conchylien. Cet étage, dont l'épaisseur est de 150 à 200 mètres en Lorraine, se divise en trois parties :

1° Une partie inférieure, essentiellement marneuse, constituée par des alternances d'argile, de marne et de schiste argileux, dans laquelle on trouve des silex, des dolomies et du gypse en amas lenticulaires ou en filets. A Sarralbe, dans l'ancien département de la Moselle, elle renferme en outre du sel gemme que l'on exploite et qui forme cinq bancs de 20 mètres d'épaisseur totale, séparés par des filets gypseux. A Lunéville (Meurthe-et-Moselle) on a reconnu le sel dans un sondage exécuté en 1832. Les fossiles manquent entièrement dans cette assise.

2° Le muschelkalk moyen, ou muschelkalk proprement dit, qui comprend des couches de calcaire grisâtre, quelquefois blanc, plus ou moins compact, avec nombreux fossiles tels que : *Terebratula vulgaris*, *Mytilus eduliformis*, *Gervillia socialis*, *Pecten discites*, *Ceratites nodosus*, des articulations d'encrines, des dents de poissons, des ossements de sauriens, etc. Ces calcaires fournissent des moellons de bonne qualité et des matériaux pour l'empierrement des routes ; on les utilise éga-

lement pour la fabrication de la chaux grasse. Les lits minces donnent des dalles de grandes dimensions et très résistantes.

3° Une assise supérieure, qui consiste en dolomies et calcaires fortement magnésiens, alternant avec des marnes feuilletées remplies souvent d'empreintes de plantes indéterminables. Les fossiles y sont les mêmes que dans l'assise précédente ; certains bancs sont pétris de débris de sauriens, de poissons et de crustacés.

Le muschelkalk se prête beaucoup mieux à la culture que les zones précédentes. A peine l'a-t-on abordé qu'on constate un véritable changement à vue ; ce sont des plateaux fertiles, couverts de nombreux villages, dont les terres argilo-calcaires sont généralement riches en acide phosphorique et en potasse et produisent de belles récoltes de blé.

Il existe, au-dessus des argiles qui forment la base du muschelkalk, un niveau d'eau très abondant qui donne naissance à des sources généralement volumineuses. Un autre niveau se montre sur les marnes du troisième sous-étage.

Toutes les sources sulfatées calciques du versant occidental des Vosges (Contrexéville, Vittel, etc.) proviennent de la base du muschelkalk. Elles sont formées par des eaux pluviales, qui se chargent de principes minéraux en traversant les bancs gypseux et dolomitiques, et elles arrivent au jour par des cassures.

676. Marnes irisées. — Il n'y a guère en géologie d'expression plus impropre que celle de *marnes irisées*. La formation à laquelle on l'applique est en effet presque exclusivement argileuse, les véritables marnes y sont rares et les nuances qui la bigarrent ne sont pas un simple effet d'irisation, car elles affectent toute la masse. Néanmoins, malgré ses imperfections, ce nom est consacré par un si long usage qu'il faut bien continuer à l'employer.

Les affleurements de cet étage occupent une zone encore plus large que celles du grès bigarré et du muschelkalk, parce que sa puissance est plus grande et atteint jusqu'à 250 à 300 mètres. On le distingue à ses colorations tranchées, où dominent le rouge et le vert, et qui s'accusent d'autant mieux qu'il

présente partout de grandes surfaces dénudées. La coloration verte est due à de l'oxyde de cuivre, la rouge à de l'oxyde de fer.

Les marnes irisées de la Lorraine comprennent trois parties :

1° Un sous-étage inférieur, composé d'argiles grisâtres ou bariolées de vert et de rouge, avec de minces filets de gypse et des lits de dolomie grenue ;

2° Un sous-étage moyen, le plus puissant de tous, qui consiste surtout en argiles gypsifères, de couleurs variées, au milieu desquelles sont intercalés des dépôts lenticulaires de sel gemme et qui se termine par un grès argileux, micacé ou dolomitique, rubané de gris et de vert ; c'est le *grès moyen de la Lorraine* ;

3° Un sous-étage supérieur, qui se compose de couches de dolomie blanc jaunâtre ou gris verdâtre, surmontées d'argiles bariolées avec gypse et lits de dolomie noduleuse et de marne dolomitique.

Les marnes irisées sont pauvres en restes organiques. Les empreintes végétales qu'on trouve en quelques points sont généralement difficiles à déterminer ; on les rapporte surtout aux *Equisetum*. Il y a aussi des moules mal conservés de coquilles dont on peut à peine reconnaître le genre.

A part quelques bancs de dolomie, qui sont exploités comme moellons ou pour l'empierrement des routes et qui ont l'inconvénient grave d'être presque toujours gélifs, et les gypses dont on fait du plâtre, on peut dire que l'étage des marnes irisées ne renferme pas de matériaux de construction. On emploie aussi le gypse et les argiles gypseuses pour l'agriculture.

Des lignites de médiocre qualité, très pyritifères et très chargés de cendres, se rencontrent en quelques points vers la partie supérieure de l'étage. On les exploite sur une faible échelle à Norroy, dans le département des Vosges.

L'ensemble de la contrée occupée par les affleurements des marnes irisées se compose de plaines moutonnées ou faiblement ondulées. Les bancs de dolomie forment seuls quelques escarpements plus accusés sur les pentes des coteaux.

Cet étage donne des terres dont la composition chimique

n'est pas mauvaise, mais qui ont des propriétés physiques si défectueuses qu'elles font souvent le désespoir des cultivateurs. En temps de sécheresse, fait observer Burat dans sa *Géologie de la France*, ces argiles se dessèchent et présentent un sol incohérent, formé de petits fragments polyédriques, fendillés par une multitude de fissures de retrait. Leurs surfaces, à moins qu'elles n'aient été modifiées par des amendements, constituent des steppes sèches dont les couleurs grisâtres, bariolées de veines d'un rouge sale, attristent la vue. Les vents violents mettent en mouvements les petits fragments argileux, de sorte que la mobilité du sol, renouvelant les surfaces, ajoute un nouvel obstacle à la végétation. Il semblerait que la saison des pluies va ramener le sol à des conditions normales ; mais les argiles se renflent en absorbant l'eau, tous les fragments se soudent et forment bientôt des surfaces imperméables sur lesquelles les eaux restent en flaques stagnantes. Heureusement il y a çà et là des sortes d'oasis d'alluvions qui recouvrent les marnes irisées et sur lesquelles la culture peut s'établir avantageusement.

677. Gisement salifère. — Le gisement salifère contenu dans les marnes irisées moyennes de la Lorraine n'affleure nulle part. Il se compose d'une succession de couches de sel, inclinées de 1 à 4 centimètres par mètre, dont la plus élevée est à une profondeur de 40 à 240 mètres au-dessous du sol dans les travaux exécutés jusqu'à ce jour.

Cet ensemble de couches forme une masse lenticulaire dans laquelle on peut distinguer deux faisceaux, séparés par un intervalle argileux stérile de 30 à 40 mètres d'épaisseur. Le faisceau supérieur est seul exploité ; à Varangéville, où il est bien développé, il comprend 11 couches de sel, dont l'épaisseur totale est de 64 mètres, réparties sur une hauteur de 87 mètres. La couche inférieure, qui est la onzième à partir du haut, a seule une puissance de 25 mètres.

Chaque couche se subdivise en bancs peu épais, de 10 centimètres au maximum, qui se différencient par de très minces cordons d'anhydrite impure ou d'argile qui forme aussi des veines transversales. Le sel est généralement en gros cristaux

cubiques, translucides, colorés en gris verdâtre, enchevêtrés les uns dans les autres. A la base des couches, les cristaux peuvent devenir beaucoup plus petits et donner au sel une texture grenue ou fibreuse.

La pureté du sel est très variable. Il renferme en plus ou moins forte proportion une certaine quantité d'argile grise ainsi qu'un peu d'anhydrite. Dans les couches supérieures, il est souvent sali par des grains de polyalite rouge chair.

Les bancs qui séparent les couches de sel consistent en une argile mêlée de gypse, d'anhydrite et de sel fibreux en veinules irrégulières. Cette argile, consistante et parfois même dure quand elle est à l'abri des influences atmosphériques, se ramollit au contact de l'air humide et se transforme rapidement en boue sous l'action de l'eau.

Le gypse ne se trouve pas seulement à l'état de dissémination. Il forme de véritables couches qui se prolongent sur de grandes étendues et peuvent dépasser 5 mètres d'épaisseur, mais qui n'ont aucune régularité. Il renferme de l'anhydrite et il est d'autant plus dur que cette substance s'y trouve en proportion plus forte. C'est un banc de cette nature qui a été traversé par le tunnel de Genevreuille et a causé les dégâts que nous avons relatés plus haut (n° 60).

Les couches de sel gemme, ainsi que les bancs de gypse et d'anhydrite, se sont probablement formés dans de grands golfes communiquant avec la mer par d'étroites ouvertures. Mais nous pensons que, de même que pour le dépôt de Stassfurt (n° 662), il faut faire intervenir ici l'action éruptive pour expliquer les principales particularités de ces gisements.

Le sol a dû d'ailleurs être affecté par des oscillations en nombre égal à celui des couches de sel. Le golfe a été alternativement isolé de la mer et remis en communication avec elle, et à la suite de chaque mouvement d'exhaussement, des eaux boueuses ont venues y déposer des sédiments argileux.

Ce mode de formation rend compte de la rareté extrême des fossiles dans les gisements salifères. On sait en effet, d'après ce qui se passe dans les marais de la mer Caspienne, que la vie animale disparaît dans les eaux marines aussitôt que la teneur en sel s'élève de 3 à 6 pour 100.

678. Exploitation du sel gemme. — Le département de Meurthe-et-Moselle est le centre le plus important de France pour l'extraction du sel gemme. Il fournit à lui seul les trois quarts de la production française, comme le montrent les chiffres suivants qui se rapportent à l'année 1884 :

Meurthe-et-Moselle.....	235.000	tonnes.
Jura, Doubs, Haute-Saône.....	56.000	—
Basses-Pyrénées, Landes, Ariège.	21.000	—
Total.....	312.000	—

La région dans laquelle sont concentrées les mines de sel de Meurthe-et-Moselle est sillonnée de grandes voies de communication, notamment le chemin de fer de Paris à Strasbourg et le canal de la Marne au Rhin. Aussi il y a lieu de se préoccuper des conséquences que peut avoir l'exploitation pour la conservation de ces ouvrages.

Nous allons examiner à ce point de vue les méthodes employées, qui sont au nombre de deux : l'exploitation par travaux souterrains et l'exploitation par dissolution.

Exploitation par travaux souterrains. — La méthode d'exploitation par travaux souterrains n'est appliquée qu'à la onzième couche, à la base de laquelle on prend seulement $4^m,50$ à $4^m,60$ sur les 21 mètres de hauteur totale. On procède par galeries de 10 mètres de largeur, tracées dans deux directions rectangulaires, de manière à ménager entre elles des piliers de 10 mètres de côté ; on laisse ainsi en place le quart de la masse attaquée. L'abatage se fait au pic et à la poudre.

Grâce à la grande cohésion du sel gemme, le toit se maintient très bien sans boisages. D'autre part, comme les terrains de recouvrement n'ont pas plus de 160 mètres d'épaisseur au-dessus de ce toit, il est facile de voir que, en admettant pour ces terrains une densité moyenne de 2,2, les piliers supportent une charge de 140 kilogrammes par centimètre carré. Or la résistance du sel gemme à l'écrasement atteint, d'après les expériences de Tournaire, 240 kilogrammes au moins.

Ce mode d'exploitation ne doit donc inspirer aucune crainte pour la conservation de la surface. Cependant, pour augmenter la sécurité, il est d'usage de prescrire sous les voies de

communication un massif de protection d'une certaine largeur, qui ne peut être traversé que par les galeries nécessaires à la mise en communication des deux parties de la mine.

On employait autrefois dans la mine de Saint-Nicolas un procédé consistant à se servir de l'eau sous pression pour creuser des entailles dans la masse de sel et découper des blocs très faciles à abattre ensuite à la poudre. On arrivait de cette manière à opérer aisément l'abatage et on obtenait en même temps de l'eau salée propre à la fabrication du sel raffiné.

Mais l'expérience a démontré que ce procédé ingénieux présentait de très graves inconvénients pour la sécurité. Malgré les précautions prises pour recueillir le liquide, des infiltrations d'eaux incomplètement saturées ont fini par se produire dans les argiles qui se trouvent au-dessous de la couche de sel ; en dissolvant les veinules de sel qui y sont intercalées, elles les ont transformées en une boue sans consistance. Il arriva un moment où les piliers s'enfoncèrent tous à la fois dans ce sol boueux sous la pression des terrains superposés, et dans l'espace de quelques secondes, toute la mine s'affaissa sur une étendue d'environ 9 hectares. Des signes précurseurs, tels que des mouvements du sol et la fissuration des piliers, avaient heureusement fait éloigner les ouvriers de la zone dangereuse.

Cet effondrement instantané, arrivé le 31 octobre 1873, causa dans le sol une commotion violente, ressentie jusqu'à Nancy, à une distance de 12 kilomètres. Elle amena une dénivellation de $3^{m},50$, dont les effets sont encore visibles à la saline de Saint-Nicolas. Les argiles délayées refluèrent dans le puits d'extraction jusqu'à une hauteur de 20 mètres et l'air, ainsi comprimé brusquement, lança la cage comme un projectile au travers de la toiture.

A la suite d'une telle catastrophe, les entailles à l'eau furent naturellement abandonnées. Ce procédé ne donne d'ailleurs pas les bénéfices que l'on pourrait supposer au premier abord, car pour peu que les travaux soient étendus, la canalisation d'eau coûte autant que l'emploi exclusif du pic et de la poudre.

Exploitation par dissolution. — La méthode d'exploitation par travaux souterrains ne convient que quand il n'est pas nécessaire d'avoir des produits tout à fait purs, ou bien quand ces produits doivent être utilisés ou expédiés à l'état solide. Le procédé par dissolution, d'une installation plus simple, se prête à moins de frais à la fabrication du sel raffiné en opérant la dissolution du sel brut dans le gisement même. C'est celui qui est le plus employé.

On fait un trou de sonde qui entame la partie supérieure du gîte salifère et on le garnit sur toute sa hauteur d'un tubage en fer percé de trous au droit des couches de sel ; on y ménage également des trous en face des nappes aquifères qui peuvent se trouver dans les terrains supérieurs. On installe ensuite sur le sondage une pompe dont le tuyau, concentrique au tubage, atteint le point le plus bas que l'on se propose d'attaquer.

L'eau douce descend, dissout le sel et se sature peu à peu. Elle gagne la partie inférieure du sondage, en raison de sa densité, et il suffit de faire fonctionner la pompe pour l'amener au jour par le tube intérieur qui sert de tuyau d'aspiration.

S'il n'y a pas de niveaux aquifères, ou si les niveaux existants ne fournissent de l'eau douce qu'en quantité insuffisante, on est obligé d'en introduire par l'ouverture supérieure du sondage.

On conçoit qu'il se forme ainsi, dans la couche attaquée, une chambre d'érosion dont l'étendue va progressivement en augmentant. Quand le lac souterrain atteint un certain diamètre, les terrains supérieurs finissent par s'effondrer, le sol s'affaisse et le sondage est par là même mis hors de service.

L'un des effondrements les plus importants est celui qui a eu lieu en 1876 à Art-sur-Moselle et qui a produit une dénivellation de 2 mètres. La surface affaissée avait à peu près la forme d'un ellipse dont le grand axe, dirigé suivant la ligne de plus grande pente des couches, mesurait 170 mètres de longueur.

Ces effondrements s'annoncent toujours à l'avance par de

légers mouvements du sol, par des crevassements dans les maçonneries, et ils s'effectuent lentement avec écoulement d'eau salée par les orifices des sondages. Aussi on peut dire qu'ils sont sans danger sérieux, pourvu qu'on éloigne suffisamment les trous de sonde des voies de communication. Il n'y a pas de règle générale à cet égard ; la distance, fixée dans chaque cas particulier par arrêté administratif, dépend surtout des positions respectives du sondage et du point à protéger par rapport au pendage des couches. Comme l'eau saturée gagne la partie la plus basse de l'excavation souterraine et que la corrosion tend par conséquent à se produire à l'amont, c'est quand les ouvrages à protéger sont dans cette dernière direction que la distance doit être la plus grande.

Des accidents d'un autre ordre peuvent être causés par les eaux douces, quand elles pénètrent dans les sondages en filtrant au travers de terrains situés à une faible distance au-dessous du sol et contenant du gypse. En dissolvant cette substance, elles creusent des poches d'une certaine étendue et déterminent alors des mouvements d'autant plus dangereux qu'ils se produisent à une moindre profondeur.

Sources salées. — Il arrive quelquefois que des sources salées naturelles sourdent à la surface du sol ou viennent tout près de cette surface par des cassures qui traversent le terrain. C'étaient autrefois ces eaux qui servaient seules à la fabrication du sel dans l'est de la France.

Quand on les rencontre dans les sondages, on se trouve dans des conditions beaucoup plus favorables pour la sécurité que lorsqu'on est obligé de dissoudre le sel sur place. Ces eaux se saturent en effet à mesure que leur parcours s'allonge sur le gisement et elles finissent par ne plus produire aucune corrosion. Avant de parvenir au sol, elles perdent même souvent une partie de leur salure en se mélangeant avec des eaux douces, comme à Portieux.

La sécurité est surtout assurée quand la source salée est complètement séparée de la couche de sel gemme. Il n'est pas nécessaire alors d'imposer les mesures de sûreté précédentes Ce n'est guère que lorsque l'extraction de l'eau salée dépasse le débit de la source et qu'une partie doit être fournie

par la dissolution du sel sur place que les inconvénients des sondages ordinaires se reproduisent, mais notablement atténués.

§ IV.

NOYAU CENTRAL DES VOSGES

679. Constitution générale. — Les terrains schisteux et granitiques qui constituent au midi la région centrale du massif montagneux des Vosges couvrent un espace triangulaire dont les trois angles sont situés aux environs de Masseraux, de Remiremont et de Schirmeck. Les sommités sont des masses arrondies, juxtaposées sans ordre, élevées de 1.000 à 1.400 mètres au-dessus du niveau de la mer, dont le profil contraste singulièrement avec les formes carrées du grès vosgien. On a là un exemple saisissant de l'influence de la constitution géologique du sol sur sa configuration.

Ces dômes, auxquels s'applique très naturellement le nom de *ballons*, par lequel on désigne un grand nombre d'entre eux, se détachent profondément les uns des autres. Ils sont dénudés, ou plus souvent gazonnés, et émergent comme des belvédères au-dessus des forêts qui recouvrent les plateaux et les pentes.

Le noyau central des Vosges, auquel est adossé le grès vosgien, domine toute la région de l'est et forme l'encaissement oriental du grand bassin géologique de Paris, dans lequel se sont entassés les terrains secondaires et tertiaires. Les points culminants y déterminent une ligne de partage, qui du côté de l'est déverse directement vers le Rhin une série de petits affluents, tandis que du côté de l'ouest les versants, plus étendus, forment les bassins de réception de la Meurthe et de la Moselle.

De toutes les masses cristallines de la France, les Vosges

centrales sont les plus riches en roches éruptives variées, granitoïdes et porphyriques. Le terrain primitif y occupe, relativement à leur étendue, d'assez vastes espaces, et on y observe en outre des couches appartenant à l'ère paléozoïque.

680. Terrain primitif. — Le terrain primitif des Vosges présente la plus grande analogie, dans sa structure et sa composition, avec celui du Plateau Central dont il serait le prolongement. Il se compose essentiellement de gneiss et de micaschistes, qui se lient à des leptynites et à des granites communs à petits grains. La partie inférieure comprend surtout des gneiss et des micaschistes, tandis que la partie supérieure est formée de gneiss accompagné de leptynite, avec bancs subordonnés de serpentines et de cipolins. L'espace compris entre Remiremont, Gérardmer et Bruyères, dans le département des Vosges, est un de ceux où on peut le mieux observer en un grand nombre de points cette formation complexe, qui est bien développée également dans la Haute-Alsace.

Le gneiss offre d'assez nombreuses variétés. Il contient souvent du mica en proportions considérables et il se divise alors facilement en lames droites ou contournées. A mesure qu'il perd son feldspath, il passe au micaschiste. Au contraire, quand le mica devient peu abondant et se réduit à de petites paillettes, en même temps que le feldspath et le quartz deviennent grenus, le gneiss passe à la leptynite, qui sert souvent elle-même de transition entre cette première roche et le granite commun.

A la Croix-aux-Mines, à Wissembach et dans quelques autres localités, le gneiss présente une modification fort remarquable. Le mica y est remplacé par de petites écailles de graphite, et le feldspath, peu abondant d'ailleurs, s'y trouve souvent à l'état de kaolin. Le carbone est quelquefois en outre répandu au milieu de cette roche dans un état tout à fait charbonneux et il a donné lieu à des recherches infructueuses de houille ; l'apparence était d'autant plus trompeuse que le gneiss, fendillé et peu solide, a quelque ressemblance avec le grès houiller.

Le gneiss de la partie supérieure et les leptynites qui lui sont

associées contiennent parfois un grand nombre de très petits grenats jaunes ou rouges, notamment dans les environs de Sainte-Marie-aux-Mines, de Gérardmer, etc.

Un des faits les plus intéressants que présente le gneiss des Vosges est la présence de plusieurs amas lenticulaires de calcaire saccharoïde ou cipolin qui s'y trouvent intercalés. On en connaît au Chippal près de Fraize, à Laveline-devant-Saint-Dié et à la montagne Saint-Philippe au-dessus de Sainte-Marie-aux-Mines.

Au Chippal, ce calcaire est grenu ou sublamellaire, quelquefois presque compact, de couleur blanche, jaunâtre, grise, rouge ou verdâtre, et il contient des filets de serpentine et du mica à éclat cuivreux. C'est donc un véritable cipolin, que l'on exploite pour les marbreries d'Epinal et qui donne d'assez beaux marbres. Le gneiss qui le renferme et qui passe à la leptynite est chargé de chaux carbonatée, ce qui montre bien qu'il est le résultat d'une concentration calcaire.

Les autres masses de calcaire saccharoïde ont les mêmes caractères. Celles de Saint-Philippe servent à la fabrication de la chaux grasse ; elles sont encore plus micacées que celles du Chippal et on y observe en quelques points des parties de serpentine noble et divers minéraux cristallisés.

681. Roches granitoïdes. — Le granite forme pour ainsi dire, d'après Élie de Beaumont, l'axe du terrain fondamental des Vosges et s'étend en une large bande qui traverse entièrement le massif, dans une direction oblique à celle de la ligne de faîte de la chaîne, depuis les bords de la plaine du Rhin près de Dambach et de Kayserberg jusqu'aux environs de Remiremont et du Val d'Ajol. Les diverses variétés de cette roche peuvent se ramener à deux types : le *granite commum* et le *granite porphyroïde*.

Le granite commun, moins répandu que l'autre malgré son nom, est généralement à grain fin. On le trouve notamment à Remiremont et au Hohneck ; souvent il passe graduellement au gneiss et à la leptynite, comme dans les environs de Gérardmer, et se lie ainsi au terrain primitif. Ce granite est extrêmement fendillé et on ne peut en tirer des masses un peu con-

sidérables ; son feldspath se décompose facilement à l'air ; les fissures qui le divisent sont souvent tapissées d'un enduit ferrugineux et remplies d'argile.

Le granite porphyroïde constitue la vraie base du massif et pour ainsi dire le cœur des montagnes, de même que toute la crête de la chaîne depuis le col du Bonhomme, sur la route de Colmar à Bruyères, jusqu'au col de Bussang, sur la route de Thann à Remiremont. Il contient le plus souvent deux feldspaths bien distincts par leur couleur et leur état cristallin, l'orthose et l'oligoclase. Quelquefois on voit le mica, qui est généralement noir, passer à une nuance vert noirâtre ou vert blanchâtre, probablement par un commencement de décomposition.

Ce granite est plus solide et beaucoup moins fissuré que le granite commun. On l'exploite comme pierre de taille en beaucoup de points.

Le granite porphyroïde renferme souvent quelques aiguilles d'amphibole. Dans certaines localités, ces aiguilles se multiplient au point de former un des éléments essentiels de la roche, qui devient alors une syénite.

La syénite vosgienne est souvent une fort belle roche. On y reconnaît les deux feldspaths, orthose et oligoclase, à des caractères bien tranchés : l'un en cristaux blancs et en cristaux verts plus petits, l'autre en cristaux rougeâtres. On y distingue quelquefois des veines feldspathiques blanc rosâtre avec amphibole, qui sont du plus joli effet ; d'autre fois, l'amphibole se trouve en agglomérations qui figurent assez bien des étoiles et qui, si elles étaient circonscrites par une cercle feldspathique, donneraient à la roche l'aspect de la diorite orbiculaire de Corse. On l'exploite pour la construction et pour l'ornementation à la Bresse, à Cornimont et à Ventron.

La montagne qui forme la crête des Vosges entre Sainte-Marie-aux-Mines et la Croix est composée principalement d'un granite amphibolifère, qui passe quelquefois à une véritable syénite. Le ballon d'Alsace ou de Giromagny et le ballon de Servance sont en grande partie formés par une belle syénite porphyroïde, que l'on exploite pour l'ornementation (n° 439).

Le granite porphyroïde est de date plus récente que le gneiss et le granite commun. Dans une foule de points, il existe entre ces deux granites de nombreux passages qui rendent souvent difficile d'établir la séparation. Mais dans d'autres localités on a trouvé des fragments gneissiques empâtés dans la masse du granite porphyroïde, et ailleurs ce dernier a traversé le gneiss sous la forme de dykes. L'origine éruptive du granite porphyroïde ne peut donc être contestée.

Le massif des Vosges nous offre encore d'autres roches granitoïdes : la *diorite*, qui se trouve en filons ou en massifs peu importants dans le granite ; la *minette*, à Framont, à Schirmeck, à Sainte-Marie-aux-Mines où on l'exploite pour le pavage et l'empierrement des chaussées ; l'*hypérite*, qui ne se montre qu'en de rares points ; l'*euphotide*, également peu répandue et qui paraît être en connexion avec la serpentine.

682. Roches porphyriques. — Les porphyres des Vosges se rapportent à deux types principaux dont l'apparition au jour a eu lieu à deux époques différentes : des porphyres franchement acides ou *porphyres quartzifères* et des porphyres moins acides, quelquefois même basiques, ou *porphyres bruns*.

Les porphyres quartzifères, qui sont les plus anciens, se rattachent par des nuances insensibles, en beaucoup de points des Vosges, aux granites qui entrent dans la constitution de ces montagnes. Ainsi en allant de Gérardmer à Vagney, on voit le granite passer au porphyre qui s'y présente en masses subordonnées ou en gros rognons. Un exemple analogue peut être observé dans la gorge de la Vologne, entre Granges et Gérardmer. Le porphyre quartzifère pourrait être considéré comme le dernier terme de la dégradation du granite porphyroïde : il est à pâte de feldspath rougeâtre ou gris pâle presque compacte, avec des cristaux blancs, lamelleux, opaques, d'orthose, souvent très gros, et des grains de quartz grisâtre dont la forme approche fréquemment de celle d'une double pyramide à six faces ; il renferme quelquefois du mica vert foncé en petite proportion.

Cette roche ne se lie pas toujours aux granites. Dans les vallées de Gérardmer et de la Croix-aux-Mines, on rencontre en effet à chaque pas des filons de porphyre quartzifère coupant les granites. Ses éruptions paraissent antérieures à l'époque anthracifère.

Le porphyre brun a une pâte pétrosiliceuse dont la couleur, naturellement d'un gris bleuâtre, passe souvent au brun, probablement par suite d'un commencement de décomposition, et devient quelquefois rougeâtre. Il renferme de petits cristaux feldspathiques blancs ou brun rougeâtre et parfois des grains amorphes de quartz. Quelquefois aussi on y remarque du mica en petites tables hexagonales, plus rarement des grains d'amphibole mal terminés. Quand les cristaux de feldspath disparaissent, cette roche devient un véritable pétrosilex.

Souvent le porphyre brun et le pétrosilex offrent des taches anguleuses qui ne sont autre chose que des fragments d'une nature à peu près identique avec celle de la pâte, mais d'une nuance de couleur ou de texture différente, qui y sont enveloppés et presque fondus.

Ces porphyres et pétrosilex fragmentaires forment des masses considérables, qui offrent fréquemment une division prismatique assez nette dans un sens perpendiculaire à la surface ; ce qui semble indiquer qu'ils ont coulé sur le sol. Ils se lient intimement, comme nous le verrons plus loin, avec le terrain permien.

Indépendamment des porphyres précédents, les Vosges en recèlent d'autres, dont les cristaux se rapportent au labrador et qui ne renferment jamais de quartz. Ce sont des mélaphyres, qui se développent en masses souvent puissantes en plusieurs points du noyau central de ces montagnes, notamment au pied oriental du vallon de Guebwiller et dans la vallée de Giromagny, où ils présentent de nombreuses variétés. Ces roches se sont probablement fait jour pendant ou après le dépôt du grès rouge permien et avant celui du grès des Vosges. On exploite à Servance une belle variété de mélaphyre qui rappelle le porphyre vert antique des Grecs (n° 453).

Il y a aussi dans les Vosges des mélaphyres compacts sans cristaux ou trapps, des serpentines, des argilophyres. Les

trapps se trouvent surtout à Raon-l'Etape, où on les exploite très activement pour l'empierrement des routes ; ils ont une couleur noire, une cassure schistoïde et parfois même une allure stratiforme.

Signalons enfin les filons de basalte presque verticaux qui traversent le trias et le grès rhétien de la côte d'Essey, près de Lunéville. Comme ils sont plus résistants que les terrains encaissants, ils donnent lieu à des saillies qui forment les diverses pointes de la montagne. Leur éruption date de l'ère tertiaire.

683. Terrains primaires. — Les couches sédimentaires les plus anciennes des Vosges paraissent être les grauwackes et les schistes des environs de Schirmeck, que l'on rapporte à la *période dévonienne*. Des calcaires cristallins, parfois amygdalins et bariolés, avec débris de crinoïdes, y sont intercalés. On en fait de la chaux ; on les a même autrefois exploités comme marbres, mais on y a renoncé, parce que les fissures qui les divisent ne permettent pas d'en tirer des blocs d'assez grandes dimensions.

Sur le versant méridional des Vosges, notamment à Chagey (Haute-Saône), le système dévonien est mieux caractérisé ; là il se montre sous la forme de schistes bréchiformes à encrines, dans lesquels on trouve des *Spirifer* et des *Phacops*.

L'étage anthracifère se montre en quelques points du massif des Vosges avec des caractères pétrographiques particuliers. Dans la vallée de Thann, où sont ouvertes de nombreuses carrières, on observe des couches de grès fin, de couleur olive, passant à une roche gris bleuâtre très dure, alternant avec un grès à gros grains de feldspath et de schiste cimentés par une pâte feldspathique. Ces grès, dans lesquels se trouvent des empreintes végétales d'une admirable conservation, se lient intimement aux porphyres bruns des Vosges, qui leur ont fourni leurs principaux éléments. Quelques couches d'anthracite sont intercalées dans le grès fin, mais ce combustible est trop impur pour être exploitable.

Les schistes de Plancher-les-Mines, qui renferment le *Productus giganteus*, des *Evomphalus* et des *Phillipsia*, appartiennent au même étage.

Le *terrain houiller* forme dans les dépressions du massif des Vosges des lambeaux dont le plus important est celui de Ronchamp (Haute-Saône), placé sur les derniers versants méridionaux.

Le *terrain permien* a dans les Vosges beaucoup plus d'importance que les formations précédentes et il a achevé d'y combler les inégalités du terrain primitif. Il comprend à la base des grès et conglomérats feldspathiques, d'un rouge violacé, souvent argileux, à éléments grossiers, généralement bréchiformes, qui consistent parfois en fragments de porphyre ou de pétrosilex. Des *argilolites*, c'est-à-dire des tufs argileux de couleur bleue, verte, rouge ou blanche, sont associées aux grès rouges, et la formation se termine par des amas irréguliers de dolomie avec rognons d'agate, dans lesquels quelques géologues ont voulu voir un équivalent du zechstein.

L'étage permien est en connexion intime avec le porphyre brun, auquel il se relie par une série de conglomérats où les fragments de cette roche dominent de plus en plus. La cascade du vallon de Nydeck, renommée par son aspect pittoresque, est l'un des points où l'on peut le mieux observer cette liaison.

Le porphyre de la cascade de Nydeck se compose d'une pâte feldspathique rougeâtre, qui renferme un grand nombre de grains amorphes de quartz hyalin incolore. Dans une grande partie de sa masse, on aperçoit des taches anguleuses qui montrent clairement que ce n'est qu'un conglomérat dont les fragments sont agglutinés par une pâte de même nature, dans laquelle ils se sont en partie fondus et qui se divise néanmoins en prismes verticaux très minces ayant souvent moins de 6 centimètres de diamètre ; ces prismes sont remarquables par leur longueur et constituent un escarpement d'une vingtaine de mètres de hauteur, qui peut rivaliser avec les plus belles colonnades trachytiques. En suivant le vallon de Nydeck, on voit ce porphyre bréchiforme passer à un conglomérat porphyritique, qui lui-même se confond bientôt avec le grès rouge permien.

A Saint-Dié, le conglomérat de la base du grès rouge a une

épaisseur d'au moins 50 mètres ; le chemin de fer de Saint-Dié à Laveline le traverse sur une longueur de 150 mètres.

Les fossiles ne sont pas communs dans le permien des Vosges. Cependant dans le Val d'Ajol, les argilolites subordonnées aux grès renferment de nombreux troncs silicifiés de fougères arborescentes et de *Cordaïtes*.

§ V.

MASSIFS DES MAURES ET DE L'ESTEREL

684. Constitution générale. — Le massif montagneux qui borde la Méditerranée dans le département du Var sur une longueur d'environ 120 kilomètres, et qui est limité par une ligne brisée passant par Toulon, Cuers, Draguignan, Grasse et Antibes, constitue une contrée très intéressante pour le géologue qui, sur un espace relativement restreint, peut étudier une série variée de formations, depuis le terrain primitif jusqu'au trias, depuis les granites jusqu'aux basaltes.

Ce massif peut se diviser en deux masses distinctes, vers le milieu de chacune desquelles les collines du littoral s'élèvent assez pour être considérées comme de véritables montagnes, sans dépasser toutefois l'altitude de 780 mètres au-dessus du niveau de la mer.

La première masse s'accuse à l'ouest par le cap Sicié, dont les pentes abruptes enveloppent la rade de Toulon comme une immense fortification. Ses montagnes, à croupes généralement arrondies, sont pour la plupart formées par des roches granitiques ou schisteuses ; on l'appelle le *pays des Maures* ou simplement *les Maures*, parce que les Sarrasins ont habité cette contrée pendant les Xe et XIe siècles et y avaient élevé des châteaux forts dont on voit encore les ruines.

La seconde masse, que l'on désigne sous le nom de l'*Esterel*, est séparée de la première par la vallée de l'Argens qui abou-

tit à la mer à Fréjus. Ses cimes principales, constituées par des porphyres quartzifères, ont des crêtes dentelées, des formes anguleuses, et contrastent complètement avec les collines

Fig. 326. — Le cap Roux, vu des environs de Cannes.

monotones des Maures. Le cap Roux, qui termine l'Esterel à Antibes et qui doit son nom à la couleur rouge du porphyre dont il est formé, est un promontoire de 484 mètres de hauteur où l'on retrouve l'expression frappante de ces caractères (fig. 326).

Les collines qui se groupent derrière celles du littoral jusque vers Draguignan et Grasse sont moins élevées ; elles sont entrecoupées en quelques endroits par de petites plaines et des vallées. C'est là que se développent les terrains triasiques, superposés aux terrains paléozoïques, sous forme d'une bande convexe de largeur variable, qui entoure entièrement le noyau central des Maures et de l'Esterel, du côté du continent.

Cette petite contrée montagneuse du littoral méditerranéen jouit du climat le plus doux de toute la France. L'abri des Alpes et les vents tièdes de la Méditerranée la défendent du froid ; c'est, suivant l'expression d'Élie de Beaumont, la Provence de la Provence, la terre de prédilection des plantes odorantes et des oliviers.

Malheureusement elle a été moins bien traitée par la nature sous le rapport de la fertilité du sol. Comme dans tous les pays à roches cristallines et schisteuses, le sol y est généralement ingrat, difficile à cultiver, stérile même en beaucoup de points, surtout dans les parties élevées.

Les croupes arrondies des Maures sont le plus souvent couvertes de bois de pins, de chênes communs, de chênes verts, de chênes-lièges, de cistes et de bruyères. Les pins sont quel-

quefois exploités pour en retirer de la résine. Quantité de vallons arrosés par des torrents, des coteaux plantés de vignes et d'oliviers, diversifient l'aspect de la contrée. Des bastides entourées de cultures, répandues au milieu de cantons sauvages, y présentent l'aspect le plus agréable. Le châtaignier, qui aime l'humidité, réussit dans les vallées, à la base des coteaux schisteux des environs de la Garde-Freinet et de Collobrières ; il s'élève souvent assez haut sur les pentes et forme des forêts épaisses.

685. Terrains primitifs et granitiques. — Les gneiss, les micaschistes et les granites forment la masse principale des Maures. Le gneiss est parfois amphibolique, d'autres fois graphiteux ; des lentilles de cipolin s'y trouvent intercalées dans la presqu'île de Giens.

Les gneiss et les micaschistes sont souvent injectés d'une granulite rosée qui tantôt est intercalée entre les feuillets, tantôt les entrecoupe ; dans certains cas, comme aux environs de Fréjus, ils passent ainsi à une granulite massive dont il est impossible de les séparer.

686. Terrains primaires. — Le terrain primitif est couronné par des schistes ordinairement verdâtres ou jaunâtres, talqueux ou micacés, parsemés de veinules ou de rognons de quartz qui s'isole quelquefois en strates, en filons ou en amas. Vers la base, ces schistes sont très cristallins et se séparent difficilement du gneiss ; ils renferment des grenats, des macles, des disthènes, et sont sillonnés de filons de granite. Vers la partie supérieure, ils alternent avec des couches calcaires, des schistes argileux, des schistes charbonneux et des veines de houille anthraciteuse.

La partie inférieure de cet ensemble, dans laquelle on ne trouve pas de fossiles, paraît appartenir aux systèmes cambrien et silurien. Les couches du sommet, qui renferment en quelques points des *Cordaïtes* et autres plantes carbonifères, se rattachent au terrain houiller qui s'étend en zone longue et étroite, cachée de distance en distance par les dépôts du trias, depuis Toulon jusqu'à Fréjus.

L'importance considérable que présenterait l'existence de la houille pour la marine a motivé des travaux de recherche près de Toulon ; on n'a malheureusement reconnu jusqu'à présent que des couches de charbon maigre de faible épaisseur et de qualité médiocre. Cependant vers Collobrières la zone de terrain houiller contient de petites veines d'un charbon véritablement gras, qui s'enfoncent sous les grès bigarrés du trias.

Le terrain permien, qui termine la série des assises du groupe primaire, est bien développé dans l'Esterel, où il débute par de puissants conglomérats à cailloux de porphyre et de gneiss, qui alternent avec des schistes à *Walchia*, des coulées de porphyre et des argilolites panachées de vert, de rouge et de violet. Ces conglomérats sont recouverts par des schistes rouges à nodules calcaires, que traversent des épanchements de pyroméride et de pechstein, et auxquels succèdent des grès et poudingues à éléments porphyriques avec filons et nappes interstratifiées de mélaphyre.

687. Trias. — Le trias forme une zone convexe adossée aux massifs des Maures et de l'Esterel. Il commence par un poudingue à galets de quartz blanc et rose ou un gravier quartzeux, qui succède aux grès rouges permiens et qui représente le *grès vosgien*.

Puis viennent les *grès bigarrés*, stratifiés en bancs de faible puissance, à ciment siliceux, ne contenant plus les éléments feldspathiques si abondants au milieu du permien sous-jacent et dépourvus de fossiles ; le mica y est moins abondant qu'en Lorraine. Ils ont souvent une coloration rouge amarante, avivée sur les escarpements par une désagrégation incessante, et dont l'intensité fait ressortir le vert de la végétation ; ce qui donne à la contrée un caractère bizarre, d'autant plus apparent que les cours d'eau y ont creusé des sillons très profonds. Le rouge est fréquemment bariolé de gris bleuâtre clair ; ces bariolures bleuâtres peuvent même atteindre de grandes dimensions et s'étendre à des couches entières.

La vallée de la Daille, jusqu'à son confluent avec la vallée d'Argens, entame ces grès dans toute leur épaisseur ; le chemin de fer de Marseille à Nice y suit un tracé facile qui con-

tourne les montagnes des Maures jusqu'au pied de l'Esterel à Fréjus. Cette disposition avait été signalée par Élie de Beaumont qui, dans l'*Explication de la carte géologique de la France*, fait remarquer que les parties supérieures et les moins solides du grès bigarré laissent autour des montagnes littorales du Var un vide continu, une sorte de large fossé, dont les escarpements du muschelkalk et quelquefois ceux des formations jurassiques et crétacées sont en quelque sorte la contrescarpe.

Le grès bigarré est exploité en plusieurs points pour la fabrication des pavés ; les parties les plus dures sont propres à faire des meules. Il est quelquefois imprégné, notamment au cap Garonne, de carbonates cuivreux comme en Lorraine.

Les couches friables des grès triasiques ont fourni, en se désagrégeant, la matière des alluvions déposées par les cours d'eau qui les entament. Ce sont leurs débris, entraînés par l'Argens, qui ont ensablé avec une si grande rapidité le golfe de Fréjus et ont permis au chemin de fer de Marseille à Nice de passer sur l'emplacement du port où s'abritaient les flottes de César et d'Auguste.

Sur tout le contour extérieur de la série de dépressions où s'observe surtout le grès bigarré, celui-ci est surmonté par le *muschelkalk*, auquel il se lie intimement par des marnes bigarrées avec de nombreuses dolomies caverneuses.

Le muschelkalk proprement dit a à peu près les mêmes caractères que dans les plaines qui entourent les Vosges et la Forêt-Noire ; c'est un calcaire compact, gris de fumée, à cassure largement conchoïde, quelquefois esquilleuse, en petits bancs à stratifications souvent noduleuses, accidenté par de nombreuses failles sur les parois desquelles il devient bréchiforme. Des lits terreux, intercalés dans les calcaires marmeux, renferment de nombreux fossiles, entre autres le *Terebratula vulgaris* et l'*Encrinus liliiformis*. Les bancs les plus durs fournissent de bons moellons.

Les *marnes irisées* n'existent pas sur tout le pourtour des montagnes littorales du Var. Elles peuvent atteindre une épaisseur totale de 150 mètres et elles se distinguent surtout du type lorrain en ce que les argiles bariolées y sont relativement

peu abondantes et que la prédominance appartient aux dolomies caverneuses comme dans les Alpes du Tyrol. Près de Grasse, on trouve une assise assez puissante de grès keupérien avec couches de lignite pyritifère et rognons de fer carbonaté lithoïde.

Les marnes de la base sont parfois propres à la fabrication du ciment. Des amas de gypse et d'anhydrite peuvent y être intercalés.

688. Roches porphyriques. — Ce sont surtout les porphyres, roches relativement rares en France, qui donnent au massif de l'Esterel son cachet et son attrait particuliers. On reconnaît de loin leurs masses à leurs cassures vives et carrées, à leurs formes aigues et crénelées dont l'aspect est des plus pittoresques. Leur surface est rocailleuse, difficile à parcourir ; aussi, avant l'établissement des routes, les forêts qui les recouvrent constituaient pour les malfaiteurs un lieu de refuge plus sûr que les maquis de la Corse.

La liaison intime des porphyres avec les couches de l'étage permien montre qu'ils ont fait éruption à l'époque permienne. Il ne se présentent pas seulement en amas ou en nappes, mais encore en filons plus ou moins épais qui traversent les formations anciennes. Leurs éruptions se sont prolongées jusque dans la période triasique, si l'on en juge par les fragments de grès bigarré qui y sont quelquefois incrustés.

Le porphyre le plus répandu, celui qui forme le cap Roux, la montagne de Rouet, etc., est un porphyre quartzifère consistant en une pâte rouge amarante, dans laquelle sont disséminés des grains de quartz incolore bipyramidés et des cristaux d'orthose rougeâtre à teinte ordinairement plus claire que celle de la pâte ; il prend parfois une teinte plus pâle, par suite d'un commencement de décomposition. Ses masses sont traversées par des fentes diversement dirigées, qui les divisent en blocs polyédriques et qui expliquent leurs profils anguleux ; ils résistent d'ailleurs très bien aux actions atmosphériques. Quelquefois le porphyre passe à la texture compacte et devient rubané et même schistoïde ; il ne renferme alors que très peu de grains de quartz et de feldspath, ou même n'en renferme pas du tout.

Cette roche s'étend presque sans interruption depuis le cap Roux et les crêtes de l'Esterel jusqu'au port d'Agay, à l'est de Saint-Raphaël. On l'emploie non seulement comme pierre à bâtir, mais comme pierre dure et polissable.

Le mélaphyre, de coloration verdâtre, se trouve en quelques points du massif de l'Esterel, notamment près de Fréjus et d'Antibes, et aux environs du village des Adrets sur la pente septentrionale ; il forme des filons et des nappes au milieu des terrains permiens. Le plus souvent il a la texture amygdaloïde et ses cavités sont remplies par des nodules calcaires ou des agates de couleurs variées.

Dans certains cas, cette roche s'altère facilement à l'air en laissant de gros noyaux sphériques qui ressemblent à des cailloux roulés. La terre qui la recouvre alors est riche en chaux, en potasse et en acide phosphorique. Tel est le cas dans les environs d'Antibes, où le sol provenant de la décomposition des mélaphyres est si profond et si fertile qu'il suffit de le défoncer, d'après M. Boitel, pour réparer l'épuisement produit par une longue série de récoltes.

La serpentine forme dans l'Esterel de petites masses isolées. Ses principaux gisements se trouvent à l'est de l'ancienne Chartreuse de la Verne, près du château de la Molle, où elle affleure en protubérances remarquables par leur couleur vert sombre ; elle est douce au toucher, opaque, d'un vert foncé moucheté de taches jaunes ou noires, facile à polir, et peut servir à faire divers ouvrages de sculpture. On l'a employée pour la construction de l'église de la Chartreuse.

Enfin quelques mamelons basaltiques, dont l'âge récent est fixé par les couches tertiaires au milieu desquelles ils surgissent, au fond du golfe de Grimaud près d'Antibes, témoignent que, dans l'Esterel comme dans les Vosges, les actions éruptives se sont de nouveau manifestées, très affaiblies à la vérité, après un long intervalle de repos.

Le magnifique *porphyre bleu* de Saint-Raphaël près Fréjus (n° 451), qui traverse toutes les roches de la région, est rapporté à la même époque que les basaltes. Par sa pâte formée d'une foule de petits cristaux, par son aspect vitreux et fendillé, il présente des traits frappants de ressemblance avec certains trachytes.

§ VI.

TYPES DIVERS DU TRIAS.

689. Trias de la Souabe et de la Franconie. — La Souabe et la Franconie sont les régions classiques du trias ; c'est là qu'il a été étudié pour la première fois et que sa division en trois étages a été établie. Aussi nous ne pouvons nous dispenser d'y faire une courte excursion, en nous contentant d'ailleurs de faire ressortir les différences que présente le trias de ces régions avec celui de la Lorraine.

Etage vosgien. — On n'y trouve rien qui rappelle le *grès des Vosges.* Le *grès bigarré*, qui compose à lui seul l'*étage vosgien*, a par contre une puissance bien plus grande qu'en Lorraine, puisqu'elle peut atteindre 500 mètres. On y distingue trois assises principales :

1° Une assise inférieure consistant en grès quartzeux, parfois cristallins, avec des bancs minces d'argile rouge ou bariolée et quelques bancs minces de *rogenstein*[1], c'est-à-dire d'un calcaire composé d'oolithes dont la texture est fibreuse du centre à la circonférence et qui sont noyées dans une matière argilo-marneuse. Ces grès, de même que ceux de l'assise suivante, renferment si fréquemment des mouches ou lentilles d'argiles, rondes ou anguleuses, que l'on peut les considérer comme tout à fait caractéristiques du grès bigarré. Dans le Thüringerwald, il y a même une assez grande proportion d'argile blanche réfractaire pour qu'on l'exploite comme kaolin.

2° Une assise moyenne, dite des *grès bigarrés proprement dits,* presque exclusivement formée de grès, tantôt fins, tantôt grossiers, bigarrés ou tachetés, renfermant de nom-

1. *Rogen*, œufs de poissons.

breuses plantes fossiles, *Voltzia heterophylla*, *Equisetum arenaceum*, fougères, etc. Dans certaines localités, notamment à Iéna, à Hildburghausen, les grès de la partie supérieure abondent en empreintes de pas de *Cheirotherium*;

3° Une assise supérieure, désignée généralement sous le nom de *Röth*, qui consiste surtout en argiles bigarrées, rouges et vertes, avec gypse, sel gemme et dolomie.

Cet étage est ici, comme on le voit, plus complexe qu'en France. Il se lie intimement par sa faune avec le muschelkalk, car le Röth montre en plusieurs points des fossiles marins de ce dernier étage, entre autres des *Myophoria*.

Les grès bigarrés fournissent à une partie de l'Allemagne des matériaux de construction. Les grands édifices, et notamment les cathédrales que l'on admire en suivant le cours du Rhin, sont bâtis avec de gros blocs de grès, dont la teinte brun rougeâtre relève la majesté de l'architecture gothique. Des villes entières sont construites également avec ces grès.

Muschelkalk. — Le muschelkalk de la région qui nous occupe est également plus complexe que celui de la Lorraine, à tel point que plusieurs géologues ont proposé pour cet étage le nom d'*étage franconien*. D'après Credner, on peut le partager en trois assises dans les points où il est complètement développé (300 mètres de puissance) :

1° Le muschelkalk inférieur, appelé *Wellenkalk*[1], à cause de la tendance des lits de stratification à former des surfaces ondulées ; quelques lits de *Schaumkalk*[2], ou calcaire spongieux, avec nombreux fossiles, *Myophoria*, *Terebratula vulgaris*, *Gervillia socialis*, *Encrinus liliiformis*, y sont intercalés ;

2° Le muschelkalk moyen, dit *groupe de l'anhydrite*, se compose essentiellement de dolomie, qui peut être poreuse et même caverneuse, d'anhydrite, de gypse et de sel gemme, et ne contient guère d'autres fossiles que des os de sauriens et des dents (Erfurt). C'est dans cette assise que sont concentrés les importants gisements salifères de la Thuringe, du Würtemberg et de la région du Neckar ;

1. *Wellen*, vagues ; *Kalk*, calcaire.
2. *Schaum*, écume, mousse.

3° Le muschelkalk supérieur, *Hauptmuschelkalk*, est formé d'un calcaire coquillier en bancs épais et réguliers qui se répètent en grande uniformité par centaines de fois, alternant avec des couches marneuses et argileuses. C'est l'assise la plus riche de toutes en débris organiques ; certaines couches sont pétries de tiges spathisées d'encrines, d'autres de térébratules.

Marnes irisées. — L'étage des marnes irisées ou *Keuper* consiste en argiles bariolées, quelquefois charbonneuses, alternant avec des grès tendres et contenant fréquemment du gypse. Il se divise en deux assises : l'inférieure, où dominent les grès et dans laquelle se trouve un lignite argileux impur, rarement exploitable, ou *Lettenkohle* [1] ; l'assise supérieure, qui est la plus épaisse, où se trouvent parfois des grès assez durs pour être employés dans les constructions, notamment à Stuttgard.

Les fossiles végétaux sont très nombreux à certains niveaux, surtout dans l'assise inférieure. Quelques couches marines contiennent des coquilles identiques à celles du muschelkalk.

690. Trias de l'Angleterre. — Le trias anglais, ou *new red sandstone* (nouveau grès rouge), se réduit à l'étage inférieur et à l'étage supérieur. Le muschelkalk fait partout défaut.

L'étage vosgien comprend des grès rouges, contenant des cailloux roulés de quartz à la partie supérieure, et des grès bigarrés présentant en quelques points des taches de carbonate de cuivre et des empreintes de *Cheirotherium*. L'étage saliférien commence par un conglomérat calcaire auquel succède un grès avec ossements et traces de pas de labyrinthodontes et se termine par des argiles rouges, ou *red marl*, dans lesquelles se trouve une couche de grès blanc à *Estheria minuta*. Le sel gemme y forme, comme en Lorraine, des masses lenticulaires rougeâtres qui peuvent atteindre jusqu'à 60 mètres de puissance. Il y a aussi des veines de gypse.

Aux environs de Bristol, dans le Somersetshire et dans

1. *Letten*, glaise ; *Kohle*, charbon.

quelques autres comtés, on observe des couches qui reposent immédiatement sur le terrain houiller en discordance de stratification et qui consistent en un conglomérat appelé *dolomitique*, parce que les fragments de roches anciennes qui le constituent sont cimentés par une pâte rouge ou jaune de calcaire magnésien. Ce conglomérat, qui a en moyenne une douzaine de mètres d'épaisseur, est intéressant par les ossements de sauriens que l'on y trouve et qui ont été pendant longtemps les seuls représentants connus de cette classe de reptiles en Angleterre. On le rapporte à la base de l'étage saliférien.

691. Trias alpin. — Dans les Alpes du Tyrol, le trias a un faciès différent de celui du type lorrain ou franconien. Ses assises sont toutes de formation marine et se signalent par l'association des fossiles ordinaires du trias avec d'assez nombreuses formes paléozoïques. De plus il s'enrichit à la partie supérieure d'un quatrième terme, anciennement appelé *calcaire alpin*, auquel, par un singulier abus de langage, on avait aussi donné le nom de *trias anormal*, parce qu'on n'avait rien trouvé qui lui correspondît dans les régions triasiques connues jusqu'alors.

Le trias alpin est un véritable dépôt de haute mer, de plusieurs milliers de mètres d'épaisseur, et c'est à cette circonstance qu'on doit d'y retrouver des types paléozoïques qu'on croyait éteints depuis longtemps. Il a été amené au jour par le soulèvement des Alpes, et en même temps disloqué en plusieurs lambeaux qui en rendent l'étude très difficile. Ce n'est qu'artificiellement qu'on peut y retrouver les divisions classiques de la Lorraine, et si le grès bigarré et le muschelkalk ont conservé quelques traits de ressemblance avec ceux de cette région, l'étage supérieur s'en éloigne complètement.

L'*étage vosgien* est représenté par des grès bigarrés auxquels succèdent des schistes micacés rouges ou des schistes sableux gris verdâtre (Röth), alternant avec des argiles schisteuses et contenant quelques lits de gypse et de sel gemme. On y trouve de nombreux fossiles, les uns spéciaux aux Alpes, les autres, moins nombreux, identiques à ceux de la Franconie.

L'*étage conchylien* comprend des calcaires ondulés ou *wellenkalk,* des grès rouges, des conglomérats et des dolomies. Le *Terebratula vulgaris* y abonde. De véritables ammonites, destinées à disparaître ensuite de la région européenne pour n'y revenir que dans la période du lias, se montrent à la partie supérieure.

L'*étage saliférien* est de beaucoup le plus développé. Il se compose de calcaires et de dolomies d'une puissance énorme, au milieu desquelles il n'y a plus que de minces intercalations de grès et d'argile qui, au point de vue géologique, ont une grande importance en ce qu'elles servent de repères. En opposition avec les autres districts triasiques, celui des Alpes nous présente une faune d'une richesse de formes tout à fait imprévue, représentée par de nombreux poissons, des crustacés, des céphalopodes, des gastéropodes, des bivalves, des échinodermes et des polypiers. Des nappes de porphyre pyroxénique, des couches de tufs, alternant à la base avec les sédiments, témoignent que tandis que le trias lorrain et franconien se déposait tranquillement, le fond de la mer, dans la région occupée actuellement par la masse des Alpes, était le théâtre de fréquents épanchements de roches éruptives.

On a subdivisé ce puissant étage en cinq assises dans l'étude détaillée desquelles nous ne pouvons entrer. Contentons-nous de signaler la deuxième assise, celle *de Wengen*, qui dans la haute vallée de l'Adige consiste en une dolomie massive, de 1.000 mètres d'épaisseur, sans aucune trace de stratification, formant de gigantesques aiguilles aux parois verticales, qui résulte de la transformation d'un calcaire primitivement stratifié par des émanations magnésiennes, dont la source était dans les éruptions porphyriques de cette époque ; la troisième assise, ou *assise de Saint-Cassian*, remarquable par sa faune admirablement conservée, qui consiste en plusieurs genres de la famille des ammonitides, en orthocères, en plus de 200 gastéropodes, en crinoïdes variés, etc.

La riche formation salifère du Salzkammergut se trouve à la base de l'assise de Wengen.

CHAPITRE XVII

PÉRIODE LIASIQUE

§ I. Généralités sur la série jurassique. — § II. Caractères généraux de la période liasique. — §. III. Lias de la Lorraine et des Ardennes. — § IV. Lias de la Bourgogne. — § V. Types divers du lias.

§ I.

GÉNÉRALITÉS SUR LA SÉRIE JURASSIQUE.

692. Configuration de la France. — Avant de poursuivre l'étude chronologique des formations sédimentaires, il est bon de nous arrêter quelques instants pour examiner quelle était la configuration de la France à ce moment de l'histoire du globe auquel nous sommes parvenu.

Le début de la période liasique marque en effet une date importante dans cette histoire, au moins en ce qui concerne la région européenne. La mer, qui jusque-là avait laissé à sec presque toute l'Europe occidentale, revient sur les pays qu'elle avait abandonnés. Elle envahit la plus grande partie de la France, ne laissant guère à découvert que quelques massifs anciens dont les uns, le Plateau Central, l'Armorique, les Vosges, l'Ardenne qui se lie par le Hundsrück aux monts Hercyniens, les Maures et l'Esterel, ont déjà acquis, à peu de chose près, leur relief, tandis que les autres ne sont encore qu'à l'état d'ébauche, comme les Pyrénées et les Alpes.

La mer formait alors dans notre pays trois grands bassins.

Le premier, auquel on peut donner le nom de *bassin de Paris* ou *bassin anglo-parisien*, est borné au nord par l'Ardenne, à l'est par les Vosges, au sud par le Plateau Central, à l'ouest par l'Armorique et le massif paléozoïque du Cornouailles et du Pays de Galles ; il s'étendait ainsi dans la partie orientale de l'Angleterre.

Le second bassin, ou *bassin pyrénéen*, a pour limites au nord le massif armoricain, au nord-est et à l'est le Plateau Central. Il communiquait avec le précédent par un détroit séparant la Vendée du Plateau Central, occupé actuellement par le Poitou. Il se continuait en Espagne jusqu'à une grande distance au-delà des Pyrénées.

Le troisième bassin, ou *bassin méditerranéen*, s'étendait au sud des Vosges et à l'est du Plateau Central pour se prolonger bien au-delà des Alpes. Il avait probablement sur sa lisière méridionale le petit massif des Maures et de l'Esterel qui se rattachait alors, à travers le golfe du Lion, au premier noyau des Pyrénées. Il échancrait fortement la bordure méridionale du Plateau Central pour former le golfe de l'Aveyron et communiquait avec la mer pyrénéenne par un détroit placé au sud des Corbières. Il était également en communication avec le bassin de Paris par un détroit situé entre le Plateau Central et les Vosges.

Ce sont ces trois bassins qui vont se tapisser de couches superposées, jusque vers la fin de l'ère tertiaire, époque à laquelle la mer les abandonnera définitivement.

A ne considérer que les grandes lignes, on voit donc que la configuration générale de la France était déjà dessinée à cette époque. Pour que notre pays prenne sa physionomie actuelle, il ne restera plus guère aux bassins marins qu'à se combler peu à peu, aux Pyrénées et aux Alpes à augmenter de volume par l'apport de nouveaux sédiments, tout en continuant à s'élever dans les airs sous l'action de formidables poussées, plusieurs fois répétées.

693. Disposition des terrains jurassiques en France. — Les terrains jurassiques, qui comprennent les deux systèmes du lias et de l'oolithe, occupent en France plus de dix

millions d'hectares, soit environ le cinquième de sa superficie totale. La disposition de ces terrains constitue un des traits saillants de la géologie française, et nous ne pouvons mieux faire, pour le montrer, que de reproduire ici les pages magistrales écrites par Dufrénoy et Elie de Beaumont dans l'introduction de l'*Explication de la carte géologique de la France* :

« Les bandes réunies des terrains jurassiques forment en France comme une large écharpe qui traverse obliquement sa partie centrale, des environs de Poitiers aux environs de Metz et de Longwy (fig. 327).

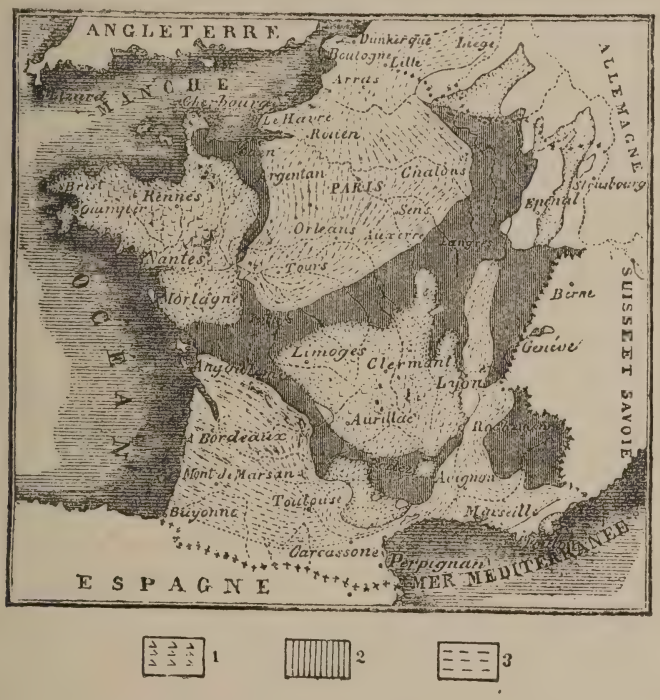


Fig. 327. — Carte des terrains jurassiques en France. — 1, terrains antéjurassiques; 2, terrains jurassiques ; 3, terrains post-jurassiques.

« Cette écharpe se recourbe d'une part, vers le haut, du côté de Mézières et d'Hirson, et de l'autre, vers le bas, du côté de Cahors et de Milhau ; mais en même temps il s'en détache

deux branches, dont l'une, se repliant au nord-ouest, se dirige vers Alençon et Caen, tandis que l'autre, descendant au midi, suit d'abord la Saône et ensuite le Rhône depuis Lyon jusqu'au-delà de Privas et tourne autour des Cévennes jusqu'au-delà de Montpellier, pour aller rejoindre la première branche dans le département de l'Aveyron.

« Ces bandes, recourbées, projettent en outre dans différentes directions des appendices irréguliers ; mais ce qu'elles présentent de plus remarquable, c'est qu'en faisant abstraction de ces irrégularités et en les réduisant par la pensée à leur plus simple expression, on voit ces bandes former deux espèces de boucles, qui dessinent sur la surface de la France une figure qui approche de celle d'un x placé sur le côté (∞) ; et même, si l'on observe que la boucle inférieure est presque fermée et ne présente que des lacunes apparentes, dues à des dépôts superficiels qui cachent les terrains jurassiques, on pourra comparer la disposition de ces bandes à la forme générale d'un 8 ouvert par en haut.

« Ces assises jurassiques, qui nous présentent l'immense avantage de pouvoir être poursuivies à découvert, d'une manière sensiblement continue, d'un bout de la France à l'autre, suivant des contours variés qui en touchent presque toutes les parties, se prolongent souterrainement dans des espaces beaucoup plus étendus que ceux où elles forment la surface ; mais la manière dont elles s'enfoncent pour s'étendre ainsi par dessous terre n'est pas la même dans toutes les parties de leur contour apparent.

« Si les deux boucles supérieure et inférieure que présente la figure analogue à celle d'un 8, qu'elles dessinent sur la surface, ont entre elles une sorte de correspondance, elles offrent en même temps une opposition complète dans la manière dont les couches jurassiques y sont disposées relativement aux masses qui occupent les deux espaces qu'elles entourent vers le nord et vers le sud : en effet, la boucle inférieure ou méridionale circonscrit un massif proéminent, formé principalement de terrains granitiques. C'est le massif montagneux de la France centrale, couronné par les roches volcaniques du Mont-Dore et du Mézenc.

« Cette boucle méridionale est ainsi moins élevée que l'espace qu'elle entoure, tandis que la boucle supérieure ou septentrionale, qui forme le contour d'un bassin dont Paris occupe le centre, est en grande partie plus élevée que le remplisplissage central de ce bassin.

« L'intérieur de ce bassin est occupé par une succession d'assises à peu près concentriques, comparables à une série de vases semblables entre eux, qu'on fait entrer l'un dans l'autre pour occuper moins d'espace.

« La différence la plus essentielle des deux boucles opposées de notre 8 est que l'une recouvre et que l'autre supporte les masses minérales qui remplissent l'espace qu'elle entoure. La boucle inférieure et méridionale est formée par des couches qui s'appuient vers le bord du massif granitique qui leur sert de centre et en quelque sorte de noyau ; la boucle supérieure et septentrionale est constituée au contraire par des couches qui s'enfoncent de toutes parts sous un remplissage central auquel elles servent de support, de bassin, de récipient, et dont elles excèdent généralement la hauteur.

« La disposition des couches jurassiques, dont nous venons de donner l'indication, est liée de la manière la plus intime à la structure, tant intérieure qu'extérieure, de la plus grande partie du territoire français. Nous pouvons le faire comprendre dès à présent, en esquissant rapidement les traits extérieurs par lesquels sa structure intérieure se révèle.

« Les deux parties principales du sol de la France, le dôme de l'Auvergne et le bassin de Paris, quoique circulaires l'une et l'autre, présentent, comme on vient de le voir, des structures diamétralement contraires. Dans chacune d'elles les parties sont coordonnées à un centre, mais ce centre joue dans l'une et dans l'autre un rôle complètement différent.

« Ces deux pôles de notre sol, s'ils ne sont pas situés aux extrémités d'un même diamètre, exercent en revanche autour d'eux des influences exactement contraires : l'un est en creux et attractif ; l'autre, en relief, est répulsif.

« Le pôle en creux vers lequel tout converge, c'est Paris, centre de population et de civilisation. Le Cantal, placé vers le centre de la partie méridionale, représente assez bien le

pôle saillant et répulsif. Tout semble fuir en divergeant de ce centre élevé, qui ne reçoit du ciel qui le surmonte que la neige qui le couvre pendant plusieurs mois de l'année. Il domine tout ce qui l'entoure, et ses vallées divergentes versent les eaux dans toutes les directions. Les routes s'en échappent en rayonnant comme les rivières qui y prennent leurs sources. Il repousse jusqu'à ses habitants qui, pendant une partie de l'année, émigrent vers des climats moins sévères.

« L'un de nos pôles est devenu la capitale de la France et du monde civilisé, l'autre est resté un pays pauvre et presque désert. Comme Athènes et Sparte dans la Grèce, l'un réunit autour de lui les richesses de la nature, de l'industrie et de la pensée ; l'autre, fier et sauvage au milieu de son âpre cortège, est resté le centre des vertus simples et antiques, et, fécond malgré sa pauvreté, il renouvelle sans cesse la population des plaines par des essaims vigoureux et fortement empreints de notre ancien caractère national. »

694. Répartition géographique. — Ce n'est pas seulement en France que les dépôts jurassiques jouent un rôle important. En Angleterre, ils occupent une large zone qui s'étend sur le bord septentrional du bassin anglo-parisien, à cheval sur la Manche et sur la mer du Nord. En Allemagne, on les trouve dans trois grandes régions, la Franconie et la Souabe, le nord-ouest, la Haute-Silésie. En Russie, ils se montrent sur de vastes espaces à l'intérieur du bassin paléozoïque de Moscou, dans la Sibérie, dans la Crimée et le Caucase où ils forment une vraie chaîne de montagne. Ils occupent une large place dans les contrées qui entourent la Méditerranée, l'Espagne, l'Italie, la Grèce, l'Algérie, et prennent une part considérable à la constitution des Alpes. Ils existent encore dans l'Amérique du Nord sur les pentes orientales des montagnes Rocheuses, au Chili, aux Indes orientales.

695. Caractères pétrographiques. — Les terrains jurassiques sont presque exclusivement composés de roches calcaires et argileuses de formation marine. Tandis qu'en France l'élément calcaire domine généralement, c'est le con-

traire en Angleterre où les éléments argileux et marneux sont plus développés. Quant aux roches siliceuses, telles que les conglomérats, les grès, les sables, elles sont relativement rares. Le gypse, la dolomie, le sel gemme, le charbon minéral, ne s'y rencontrent qu'exceptionnellement.

Ces terrains présentent à divers niveaux de précieux gisements de chaux hydraulique et de ciment. On y trouve en abondance d'excellentes pierres d'appareil, qui ont servi à la construction de villes importantes, remarquables par la beauté de leurs édifices et de leurs habitations particulières, comme Nancy, Besançon, Dijon, Bourges, Poitiers, etc. Si on examine sur une carte géologique la position qu'occupent ces villes, les mieux bâties après Paris et Bordeaux qui sont situées dans des bassins tertiaires, on remarque qu'elles sont toutes placées sur les contours des affleurements jurassiques. Les Romains eux-mêmes, en choisissant les calcaires jurassiques pour édifier un grand nombre de monuments, ont fait preuve de l'expérience qu'ils avaient des qualités des matériaux fournis par ces terrains.

La texture de ces roches est variée à l'infini. Ce sont des calcaires compacts dont quelques-uns ont une tendance à la texture cristalline et sont susceptibles de poli, des calcaires lithographiques, des liais, des calcaires vacuolaires, des calcaires à polypiers, des calcaires à entroques très durs, des calcaires oolithiques tendres, etc.

§ II.

CARACTÈRES DE LA PÉRIODE LIASIQUE.

696. Faune. — *Vertébrés.* — Le monde animal fait avec la période liasique un grand pas en avant. Tout au début apparaissent les premiers mammifères sous la forme de marsupiaux, les êtres les moins parfaits de cette classe, qui n'exis-

tent plus maintenant qu'en Australie ; tel est le *Microlestes antiquus*, petit animal dont la taille ne dépassait pas celle des putois, qui se rapprochait beaucoup du myrmécobie actuel, et qui a laissé des débris assez complets de son squelette en Angleterre dans le Somersetshire. D'après quelques géologues, les premiers marsupiaux remonteraient même à la fin du trias et ils seraient représentés par le *Dromatherium sylvestre* de la Caroline du Nord. Quoi qu'il en soit, les mammifères s'immobiliseront longtemps dans cette organisation inférieure, car les vrais mammifères, franchement vivipares, ne se montreront que dans l'ère tertiaire.

Les mers liasiques étaient parcourues par d'énormes reptiles nageurs de l'ordre des sauriens, l'*ichthyosaure* [1] et le *plésiosaure* [2], qui se signalent par l'étrangeté de leur conformation et leur taille gigantesque atteignant parfois 12 et même 15 mètres.

Fig. 328. — *Ichthyosaurus communis.*

L'ichthyosaure (fig. 328) rappelle nos cétacés actuels par ses dimensions et la lourdeur de ses formes. Il avait pourtant une certaine agilité, grâce aux rames puissantes dont il était muni, et la force de ses nombreuses dents en faisait un des monstres marins les plus redoutables de cette période. Il avait, dit d'Orbigny, le museau d'un marsouin, la tête d'un lézard, les dents d'un crocodile, les vertèbres d'un poisson, le sternum d'un ornithorhynque et les nageoires d'une baleine. Son œil, très grand, était protégé en avant par un cercle de pièces osseuses. C'était un animal carnassier très vorace ; on retrouve fréquemment ses excréments ou coprolithes, et on peut y reconnaître les débris mal digérés de poissons qui servaient à sa nourriture. Avec une semblable alimentation, il n'est pas étonnant que ces coprolithes soient aussi riches en phosphate de chaux.

1. Ἰχθυς, poisson ; σαυρος, lézard.
2. Πλησίος, voisin ; à cause de sa ressemblance avec un lézard.

Le plésiosaure (fig. 329) avait des formes plus élancées, un cou très allongé, une tête petite et moins fortement armée. Il était plus souple et plus agile que l'ichthyosaure, et plus que

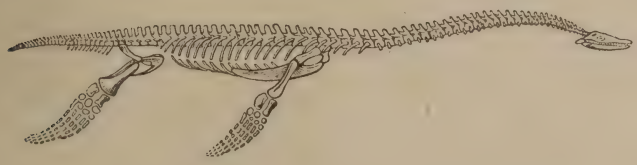


Fig. 329. — *Plesiosaurus dolichodeirus.*

lui encore il s'éloignait des types actuels de la création. On l'a comparé quelquefois à un serpent logé dans la carapace d'une tortue, quoiqu'en réalité il n'ait pas de carapace.

Un autre animal singulier, le *ptérodactyle*[1] (fig. 330), qui fréquentait les plages, avait à la fois des affinités avec les chauves-souris, les oiseaux et les reptiles. Il était conformé uniquement pour le vol ; l'un de ses doigts, qui avait un allongement extraordinaire, soutenait une membrane qui constituait une aile analogue à celle des chauves-souris. D'autre part, la forme de son crâne le rapprochait d'un oiseau. Mais ses dents nombreuses et pointues, la brièveté de son cou, la minceur de sa queue, le nombre de ses doigts, en font bien un saurien et c'est avec raison que Cuvier l'a placé dans la classe des reptiles.

Fig. 330. — *Pterodactylus crassirostris.*

Ces sauriens bizarres constituent, comme on voit, ce que l'on a quelquefois appelé des *types collectifs*, dans lesquels se trouvent réunies des particularités qui plus tard seront complètement séparées.

Les poissons étaient très nombreux ; ce sont des squales ainsi que des ganoïdes, mais à queue homocerque.

Articulés. — Le lias du Gloucestershire en Angleterre ren-

1. Πτερον, aile ; δακτυλος, doigt.

ferme, d'après Lyell, de nombreux débris d'insectes, généralement de petite taille. Un lit de 30 centimètres d'épaisseur est même tellement rempli d'élytres de coléoptères, avec des scarabées presque entiers dont les yeux sont parfaitement conservés, qu'on le désigne sous le nom de *calcaire à insectes*.

Mollusques.— Parmi les céphalopodes, qui forment la classe de mollusques la mieux représentée dans la période liasique, dominent les *ammonites* et les *bélemnites*.

Les ammonites s'étaient déjà montrées dans la période triasique, mais, sauf dans quelques dépôts pélagiques comme le trias alpin, elles étaient relativement peu nombreuses. Avec le lias, elles prennent tout d'un coup un énorme développement et surpassent tous les autres mollusques, non seulement par leur nombre, mais encore par la variété de leurs formes et l'ornementation de leurs coquilles. Chaque étage, chaque assise même, a ses ammonites spéciales qui constituent ainsi d'excellents repères pour le géologue.

Quant aux bélemnites, elles naissent dans le lias. Ces mollusques se rapprochent de la seiche ou du calmar, chez lesquels la coquille se réduit à une partie dure, calcaire ou cornée, située dans l'intérieur des tissus sur le dos de l'animal. Ils avaient une lame cornée (fig. 331), assez large et aplatie, qui se terminait inférieurement par une pointe calcaire. Cette pointe, ou *rostre*, le seul reste qui nous ait été généralement conservé à l'état fossile, est conique ou aplatie et se compose de couches concentriques emboîtées les unes dans les autres, à fibres triangulaires rayonnant comme les rayons médullaires de la tige des arbres ; elle est creusée, à l'extrémité la plus large, d'une cavité conique ou *godet*. Le rostre porte ordinairement des sillons dont le nombre et l'emplacement fournissent de bons caractères pour la distinction des espèces.

Fig. 331. — Lame cornée et rostre de bélemnite.

Les rostres de bélemnites sont parfois si

abondants dans certaines couches qu'il est permis de supposer que ces animaux se réunissaient en troupes nombreuses comme les calmars.

Les acéphales viennent après les céphalopodes comme importance. Ce sont des huîtres à crochet recourbé ou *Gryphæa*

Fig. 332. — *Gryphæa arcuata.*

Fig. 333. — *Spiriferina Walcoti.*

(fig. 332), des *Trigonia,* à coquille équivalve, épaisse et triangulaire, des *Pecten, Lima, Plicatula, Avicula, Pholadomya,* etc., genres dont la plupart avaient déjà apparu dans la période précédente.

Les brachiopodes consistent surtout en térébratules et rhynchonelles. Il y a encore de rares types voisins des genres paléozoïques, notamment le *Spiriferina* (fig. 333) qui ressemble beaucoup aux spirifères ; puis ils s'éteignent vers le milieu ou la fin de la période.

Les gastéropodes sont peu nombreux. Nous citerons surtout les genres *Trochus* et *Pleurotomaria*, déjà parus dans les temps primaires, qui sont très voisins l'un de l'autre et qui sont tous deux de forme trochoïde. Le premier s'est continué sans interruption jusqu'à nos jours ; le second, qui paraît finir avec l'ère secondaire, car il est inconnu dans les terrains tertiaires, a été retrouvé vivant et parfaitement caractérisé dans la mer des Antilles.

Zoophytes. — Les crinoïdes continuent à abonder. Le *Pentacrinus,* ainsi nommé à cause de la section pentagonale de sa tige, pullulait et ses débris se trouvent à profusion dans certaines couches. Le *P. briareus*, avec ses énormes bras qui lui donnent une apparence touffue (fig. 334), forme même dans le lias inférieur de l'Angleterre des masses entremêlées constituant des lits minces d'une étendue considérable.

Les oursins ne sont pas très nombreux ; ils appartiennent pour la plupart au genre *Diadema* (fig. 335) dont le test, en

Fig.334.—*Pentacrinus briareus* du sinémurien anglais (Lyell).

Fig. 335. — *Diadema seriale*, de l'hettangien du Mont-d'Or lyonnais.

forme de couronne, porte d'assez gros tubercules crénelés et perforés.

Les polypiers sont également en petit nombre. Nous citerons surtout le *Montlivaultia*, polypier libre, de forme circulaire, qui se trouve à la base du lias.

Les foraminifères sont presque tous microscopiques et disséminés au milieu des couches marneuses de ce système.

697. Flore liasique. — La végétation liasique, d'un caractère assez monotone, consistait surtout en cycadées, en conifères et en fougères.

Les cycadées sont les plantes les plus répandues, et elles comptent de nombreux genres, entre autres les *Zamites* et les *Pterophyllum*, dont plusieurs espèces sont propres aux terrains humides. Les *Zamites*, très voisins de nos *Zamia* actuels, semblent annoncer la venue des palmiers, qui naîtront dans la période crétacée ; ce sont des arbres d'un port élégant qui constituent à eux seuls la moitié des forêts liasiques.

Les conifères se rapprochent beaucoup de ceux de notre époque.

Les fougères ont définitivement perdu les énormes dimensions qu'elles possédaient antérieurement ; mais leur feuillage aérien porte encore de fines et délicates découpures. La présence de leurs débris dans des argiles schisteuses et charbonneuses témoigne que la plupart d'entre elles vivaient dans des marécages.

698. Division en étages. — Le système liasique se divise en cinq étages :

5. Étage toarcien.
4. Étage liasien.
3. Étage sinémurien.
2. Étage hettangien.
1. Étage rhétien.

L'étage inférieur ou *étage rhétien* tire son nom du pays des Grisons, ancienne *Rhétie*. Il est généralement formé de grès grossiers et de poudingues, et on le désigne souvent sous le nom d'*infralias* ou de *grès infraliasique*. Dans plusieurs localités, il se lie intimement au trias auquel on le réunit quelquefois ; c'est en réalité une zone de passage qui possède des caractères mixtes et tient des deux systèmes.

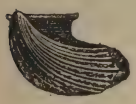


Fig. 336. *Avicula contorta.*

Au point de vue paléontologique, l'étage rhétien est essentiellement caractérisé par l'*Avicula contorta* (fig. 336). C'est à ce niveau qu'on a rencontré le *Microlestes antiquus*.

Fig. 337. — *Ammonites planorbis.*

Fig. 338. — *Ammonites angulatus.*

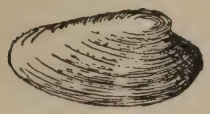


Fig. 339. — *Cardinia concinna.*

Fig. 340. — *Pecten valoniensis.*

L'*étage hettangien*, dont le type est offert par le grès d'Hettange, localité située entre Thionville et Luxembourg, peut se rattacher aussi à l'infralias. Les fossiles caractéristiques de cet étage sont : *Ammonites planorbis* (fig. 337), *A. angulatus* (fig. 338), *Cardinia concinna* (fig. 339), *Pecten valoniensis* (fig. 340), *Montlivaultia Guettardi*.

Ce sont les trois étages suivants qui constituent le lias proprement dit, dont le nom est emprunté à une expression locale, usitée en Angleterre pour désigner les bancs calcaires minces qu'on y rencontre [1]. Ils représentent pour les géologues allemands le *Jura noir*, ainsi nommé à cause de la coloration foncée de ses marnes et de ses argiles, tandis que le *Jura brun* et le *Jura blanc* correspondent à la partie inférieure et à la partie supérieure du système oolithique.

Fig. 341. — *Gryphœa arcuata.*

Fig. 342. — *Ammonites Bucklandi.*

Fig. 343. — *Spiriferina Walcoti.*

Fig. 344. — *Belemnites acutus.*

L'*étage sinémurien*, constitué surtout par des calcaires plus ou moins argileux et des argiles, a son type dans l'Auxois aux environs de Semur, le *Sinemurium* des Romains. Parmi ses fossiles caractéristiques, nous citerons *Gryphæa arcuata* (fig. 341), à crochet très recourbé et à sillon longitudinal ; *Ammonites bisulcatus* ou *Bucklandi* (fig. 342) avec deux sillons sur le dos ; *Spirlferina Walcoti* (fig. 343), l'un des derniers repré-

1. D'après d'Archiac, le mot *lias* serait une corruption de *layers*, lits.

sentants de la famille paléozoïque des spiriférides ; *Belemnites acutus* (fig. 344), à pointe aigue. C'est dans cet étage que commencent à apparaître les grands sauriens nageurs et le ptérodactyle.

Fig. 345. — *Gryphœa cymbium.*

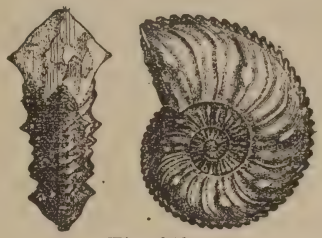


Fig. 346.
Ammonites margaritatus.

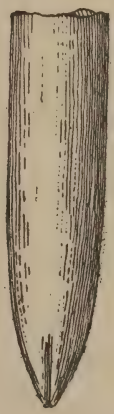


Fig. 347.
Belemnites paxillosus,

Fig. 348.
Belemnites clavatus.

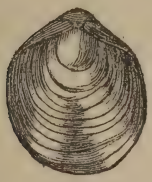


Fig. 349.
Terebratula numismalis.

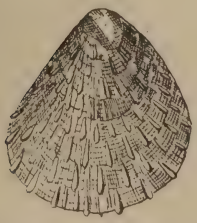


Fig. 350. — *Plicatula spinosa.*

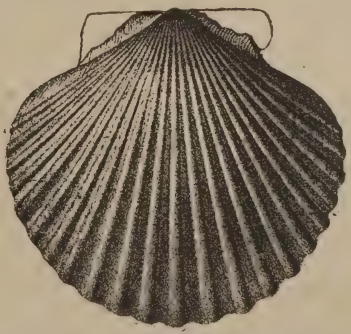


Fig. 351. — *Pecten æquivalvis.*

L'*étage liasien* comprend la partie moyenne du lias. Il ne se sépare pas toujours très nettement du précédent par ses caractères pétrographiques, mais ses fossiles sont tout différents. Ce sont le *Gryphæa cymbium* (fig. 345), plus large et à crochet moins recourbé que la gryphée arquée, ressemblant à une petite nacelle, ce qui lui a fait donner son nom spécifique; l'*Ammonites margaritatus* (fig. 346), à petites nodosités ayant la forme de perles ; le *Belemnites paxillosus* (fig. 347) ; le *Belemnites clavatus* (fig. 348), en forme de fuseau; le *Terebratula numismalis* (fig. 349), petite coquille aplatie et arrondie comme une pièce de monnaie ; le *Plicatula spinosa* (fig. 350) ; le *Pecten æquivalvis* (fig. 351) dont les valves, sensiblement égales, sont convexes toutes les deux ; le *Pentacrinus basaltiformis*, dont les tiges rappellent les colonnes prismatiques de basalte.

L'*étage toarcien*, qui se présente le plus souvent sous le faciès argileux, est bien développé en France dans le département des Deux-Sèvres, près de la ville de Thouars, *Toarcium*

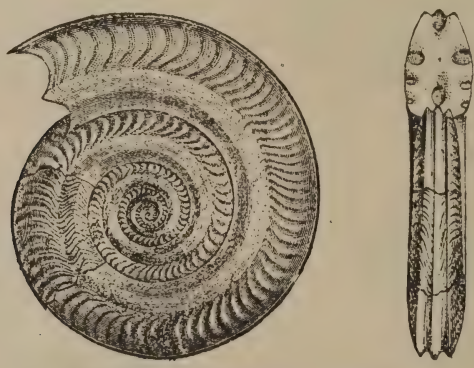


Fig. 352. — *Ammonites bifrons.*

Fig. 353. — *Ammonites opalinus.* Fig. 354. — *Belemnites digitalis.*

Fig. 355. — *Posidonia Bronnii.*

Fig. 356. — *Trigonia navis.*

des Romains. Les fossiles qui le caractérisent sont : *Ammonites bifrons* (fig. 352), avec un sillon profond dans le sens de l'enroulement ; toute une série d'ammonites discoïdales, à tours de spire aplatis, marqués sur le travers de côtes fines rayonnantes, comme *A. opalinus* (fig. 353) ; *A. serpentinus*, tellement comprimée parfois que son épaisseur se réduit à celle d'une feuille de papier ; *Belemnites digitalis* (fig. 354), dont le rostre, aplati et arrondi à son extrémité inférieure, ressemble à un doigt de gant ; *Posidonia Bronnii* (fig. 355), petit bivalve ressemblant à une avicule sans aile, si abondant dans certaines marnes de la partie supérieure qu'on les désigne sous le nom de *marnes à posidonies* ; *Trigonia navis* (fig. 356).

§ III.

LIAS DE LA LORRAINE ET DES ARDENNES.

699. Infralias. — Au-dessus des marnes bariolées qui terminent la série des couches triasiques, on trouve en Lorraine un grès jaune micacé avec lits de poudingues argilo-siliceux renfermant un grand nombre d'ossements de vertébrés (*bone-bed*, ou couche à ossements, des géologues anglais), le tout recouvert d'une argile rouge ressemblant beaucoup à celle du trias.

Cet ensemble, qui est développé surtout dans les environs de Vic et de Kédange (Alsace-Lorraine), représente l'*étage rhétien* ; son épaisseur moyenne est d'une vingtaine de mètres. Son fossile caractéristique, l'*Avicula contorta*, y est relativement rare.

Étage hettangien. — Près d'Hettange, où a été pris le type de cet étage, se trouve un dépôt de sable quartzeux assez fin, au milieu duquel sont des parties fortement agrégées sous forme de masses lenticulaires sans aucune suite.

Ce sont des grès calcareux très durs, à cassure grenue et esquilleuse, que l'on exploite activement pour pavés et moellons. Au milieu on observe un mince banc coquillier rempli de petits galets de quartz, duquel on a tiré tous les fossiles qui constituent la faune si riche et si variée d'Hettange, car les autres couches en sont complètement dépourvues. Il y a aussi, dans cette partie de la formation, de nombreuses empreintes de plantes terrestres. Ces plantes et la présence de quelques coquilles lacustres dans le banc fossilifère prouvent que le grès d'Hettange est un dépôt de rivage, auquel les eaux douces des terres émergées ont fourni leur tribut.

Le grès d'Hettange n'existe que dans les environs de la localité de ce nom et dans le grand-duché de Luxembourg. Il n'y a, dans toute la Lorraine, rien qui rappelle, même de loin, son faciès caractéristique. Il constitue donc une anomalie dans le terrain liasique.

La place qu'il y occupe a été l'objet de nombreuses discussions et est restée pendant longtemps indéterminée. On le considère maintenant comme l'équivalent exact des couches calcaires à *Ammonites planorbis* et *A. angulatus* des autres régions de l'Est.

Ces dernières couches sont peu développées dans la plus grande partie de la Lorraine, où elles n'ont guère plus de 4 à 5 mètres de puissance; elles sont généralement à l'état de calcaire marneux. Elles s'amincissent encore vers l'ouest, dans les Ardennes : entre Sedan et Mézières, elles commencent par un conglomérat coquillier qui repose sur les schistes paléozoïques de l'Ardenne.

700. Étage sinémurien. — L'étage sinémurien de la Lorraine et des Ardennes consiste en bancs de calcaire gris bleuâtre à grain fin, de 10 à 40 centimètres d'épaisseur, alternant avec des marnes ou des argiles plus épaisses, grises ou noirâtres, souvent pyriteuses. Les fossiles caractéristiques que nous avons cités plus haut (n° 698) y abondent, et notamment la gryphée arquée.

Les bancs calcaires donnent des moellons, des pavés, des matériaux d'empierrement ; on peut même quelquefois en faire de petites pierres de taille. Plusieurs d'entre eux présentent la composition qui répond à celle des chaux hydrauliques ; on les exploite pour la fabrication de ces chaux à Charleville, Warcq, Saint-Menges, dans les Ardennes ; à Metz, Jarville, Varangéville, en Lorraine.

Dans les communes de Sandaucourt, Damblain, etc. de l'arrondissement de Neufchâteau (Vosges), l'étage sinémurien présente à sa partie supérieure des nodules phosphatés grisâtres empâtés dans la masse. On retrouve les mêmes nodules en couche mince au milieu d'une argile ocreuse qui recouvre les bas-fonds ; ils proviennent de la destruction du banc qui les contenait par des eaux acides qui ont dissous le carbonate de chaux et respecté le phosphate de chaux ; aussi ils sont plus riches que les nodules en place, comme le montrent les analyses suivantes :

	Nodules	
	en place	remaniés
Phosphate de chaux.....	50	75
Carbonate de chaux.....	25	10
Silice, alumine, oxyde de fer, etc..	25	15
	100	100

Dans les départements des Ardennes et de la Meuse, le phosphate de chaux existe aussi au même niveau ; mais il n'est pas exploitable.

701. Étage liasien. — L'étage liasien est remarquablement développé dans les Ardennes et le nord de la Meuse, où il peut atteindre 220 mètres de puissance. Sauvage et Buvignier le divisent en trois sous-étages :

3. Calcaire ferrugineux.
2. Marnes à ovoïdes.
1. Calcaire sableux.

Le sous-étage du *calcaire sableux*, qui représente à lui seul plus de la moitié de l'étage, comprend des calcaires siliceux qui ont souvent l'aspect de grès compact, et des calcaires argileux alternant avec des sables micacés ou des couches de marne grise. Ces assises s'étendent avec des caractères constants et une parfaite régularité sur de grandes étendues ; cependant les couches ne se prolongent pas indéfiniment, mais elles se terminent en biseau de manière à affecter la forme de grandes lentilles très aplaties. Ce sont ces couches qui forment les escarpements de la rive droite de la Meuse entre Sedan et Charleville et qui recouvrent presque tout le Luxembourg français.

Parmi les nombreux fossiles du calcaire sableux, nous citerons le *Gryphæa cymbium*, le *Plicatula spinosa*, plusieurs bélemnites.

Dans les environs de Mézières, il y a de grandes carrières, occupant plus de 150 ouvriers, où l'on exploite les bancs calcaires de ce sous-étage pour en faire des moellons, des pavés, des dalles et des bordures de trottoirs, des auges. Ces matériaux sont de bonne qualité.

Les sables, quand ils sont un peu argileux, sont employés pour le moulage de la fonte.

Les *marnes à ovoïdes* consistent en une assise puissante d'argile marneuse, quelquefois sableuse et micacée, grisâtre, renfermant des nodules ou ovoïdes ferrugineux qui ont la forme d'amandes à couches concentriques de quelques millimètres d'épaisseur. Ces ovoïdes se brisent facilement, et il en résulte que les affleurements de ce sous-étage sont recouverts d'une multitude de petites plaquettes appartenant à des surfaces courbes.

Vers la partie supérieure on observe quelques couches minces de calcaire compact et de lumachelle à petites coquilles. Cette lumachelle est caractéristique ; on la retrouve en des points fort éloignés les uns des autres, au même niveau géognostique.

Les fossiles les plus répandus sont : *Pecten æquivalvis*, *Belemnites clavatus*, *B. paxillosus*.

Les marnes sont souvent pyriteuses ; elles sont parfois en outre assez chargées de matières organiques pour brûler. Les cultivateurs les emploient pour l'amendement des terres trop calcaires ou trop sableuses, qu'elles rendent plus compactes ; elles agissent en outre par la petite quantité de sulfate de chaux que donne la pyrite en s'oxydant et réagissant sur le carbonate de chaux.

Le *calcaire ferrugineux* à *Terebratula tetraedra* se compose d'une succession de couches de calcaire argileux, souvent ferrugineux, rubané quelquefois par des bandes parallèles d'oxyde de fer, alternant avec des bancs de marne, surtout dans la partie supérieure. Il y a aussi plusieurs couches de lumachelle et des poudingues à noyau de calcaire marneux.

En quelques points (Pont-Maugis, Noyers-Thelonne), de gros nodules phosphatés sont enchâssés dans les couches supérieures du calcaire ferrugineux. Ils ne sont pas assez riches pour être exploitables ; cependant, quand ils sont dégagés de la masse et qu'ils gisent à la surface du sol, ils peuvent contenir 40 à 45 0/0 de phosphate de chaux.

Lorraine. — L'étage liasien a moins d'importance en Lorraine que dans les Ardennes. Aux environs de Nancy, où il a une soixantaine de mètres de puissance, il se compose d'argiles schisteuses, comprenant de minces lits calcaires dans le haut, avec *Ammonites Davæi* et *Gryphæa cymbium*, auxquelles succèdent des argiles sableuses à *Ammonites margaritatus*, *Terebratula numismalis*, *Plicatula spinosa*, *Belemnites clavatus*, *B. paxillosus*, présentant à la partie supérieure des ovoïdes ferrugineux, puis de gros nodules calcaires.

Les fossiles permettent, comme on voit, d'établir facilement la concordance de ces couches avec celles du liasien ardennais.

702. Étage toarcien. — L'étage toarcien des Ardennes, de composition très simple, consiste en une assise puissante d'argile qui, à sa partie inférieure, est bitumineuse et pyriteuse. Des nodules de calcaire bleuâtre et des lits minces de lu-

machelle y sont intercalés. A la partie supérieure, une petite couche de minerai de fer en grains empâtés dans l'argile correspond à la couche ferrugineuse que nous verrons tout à l'heure acquérir tant d'importance en Lorraine.

Cet étage comprend des vertèbres de sauriens, diverses espèces de bélemnites, l'*Ammonites serpentinus*, le *Posidonia Bronnii*, etc.

Les marnes pyriteuses sont exploitées sous le nom de *cendres sulfureuses* dans quelques localités, notamment à Flize, pour l'amendement des prairies artificielles. On les calcine préalablement à l'air libre pour transformer la pyrite en sulfate de chaux.

Tandis que l'étage liasien est moins développé en Lorraine que dans les Ardennes, le contraire a lieu pour le toarcien, qui atteint dans cette première contrée plus de 120 mètres d'épaisseur et qui y présente en outre une composition plus variée.

La partie inférieure est constituée par des argiles sableuses et des schistes argileux bruns, ressemblant parfois à du carton grossier et chargés de bitume au point d'être combustibles. Quelques minces plaquettes de calcaire dur, de gros ovoïdes de calcaire bleuâtre ressemblant à des pains ou *miches*, de petits nodules ferrugineux, y sont intercalés. On y trouve aussi du *nagelkalk*[1], chaux carbonatée cristallisée qui paraît formée de cornets emboîtés les uns dans les autres.

C'est la zone à *Ammonites bifrons*. Les posidonies y sont très abondantes, principalement sur les plaquettes calcaires de la base.

Les couches qui recouvrent ces argiles sont très variables en puissance et en composition. La première est un grès argileux jaunâtre micacé, plus ou moins cohérent, avec veinules ferrugineuses. Vient ensuite l'oolithe ferrugineuse, qui constitue un riche gisement de minerai sur lequel nous reviendrons tout à l'heure. Puis la série se termine par une argile micacée, bleuâtre ou verdâtre, qui manque quelquefois.

Cette seconde partie du toarcien lorrain contient comme

1. De l'allemand *Nagel*, clou ; *Kalk*, calcaire.

fossiles caractéristiques l'*Ammonites opalinus*, le *Trigonia navis*, diverses bélemnites, etc.

Près de Thélod, Levallois a signalé dans l'étage toarcien des bancs nettement stratifiés d'une roche singulière, dure, verdâtre ou rougeâtre, qui, d'après M. Braconnier, contient 2 0/0 d'acide phosphorique et qui résulterait de la modification des marnes toarciennes, postérieurement à leur dépôt, par des sources à une température élevée, chargées de fer et d'acide phosphorique.

703. Gisement de minerai de fer. — Le gîte de minerai de fer de la partie supérieure du lias lorrain est le plus beau gisement métallique que possède la France. Il s'étend de Nancy à Longwy sur une longueur de plus de 100 kilomètres, formant une bande souterraine d'une largeur moyenne d'une vingtaine de kilomètres, qui se termine en biseau à l'ouest dans le département de la Meuse, empiète à l'est sur l'Alsace-Lorraine et se prolonge au nord dans le grand-duché de Luxembourg.

La localisation de cette bande sur les bords du bassin jurassique montre bien que c'est un dépôt formé le long des rivages vaseux d'une mer peu profonde. Quant à l'oxyde de fer, il provient sans doute de la peroxydation du carbonate de fer que des sources amenaient à l'état de dissolution, grâce à un excès d'acide carbonique.

Dans cette région, les diverses couches de la formation ferrugineuse affleurent sur les pentes qui bordent les plateaux et les collines, ainsi que sur les versants des vallées secondaires qui entament le lias. Une règle très simple permet d'en déterminer la position exacte : elles se trouvent toujours à l'intersection de la pente assez raide formée par les calcaires de l'oolithe inférieure et de la pente douce due aux marnes liasiques. Toutefois, elles sont fréquemment masquées par des éboulis calcaires, d'une puissance parfois considérable, qui les cachent aux yeux. En raison de l'inclinaison générale du terrain vers le centre du bassin de Paris, c'est-à-dire vers l'ouest, c'est sur les pentes qui regardent l'est que l'on aperçoit le plus souvent le minerai de fer à la surface du sol.

Le long des affleurements, la formation ferrugineuse et l'oolithe qui la recouvre sont parcourues par des fissures verticales parallèles aux vallées, avec accompagnement de ressauts en escalier qui disparaissent à mesure que l'on s'enfonce dans l'intérieur. Les fissures deviennent elles-mêmes de moins en moins perceptibles quand on s'éloigne des affleurements. Leurs parois sont ordinairement tapissées de calcaire cristallin déposé par des eaux d'infiltration.

Toutes ces circonstances dénotent un affaissement qui a déterminé un léger plongement des couches vers les vallées. C'est ce que l'on constate toujours d'ailleurs lorsque des roches sans consistance, comme les argiles et les marnes, sont recouvertes par des roches résistantes, telles que des calcaires.

Le minerai se compose essentiellement de petits grains ferrugineux, ou oolithes, agrégés par un ciment plus ou moins abondant. Les oolithes, qui constituent la partie la plus riche de la masse, sont à peu près sphéroïdales et elles ont ordinairement la grosseur d'une tête d'épingle ; elles deviennent quelquefois tellement ténues qu'elles sont à peine perceptibles à l'œil nu. Elles sont accompagnées d'autres grains assez volumineux, ayant d'un à quelques millimètres de diamètre, dont la forme est d'autant moins régulière que le ciment est plus calcaire.

Chaque oolithe est généralement formée de couches concentriques de peroxyde de fer hydraté plus ou moins argileux ; la couche extérieure, mince et dure, enveloppe comme une écorce la partie intérieure qui est tendre et terreuse. Sa surface est lisse, brillante, de couleur jaune brunâtre, noire ou quelquefois rougeâtre.

Le ciment ou gangue est un mélange en proportions variables de sable, d'argile et de calcaire, et il est toujours ferrugineux. Suivant que l'une de ces trois substances domine, on a des minerais siliceux, argileux ou calcaires. Ces derniers sont généralement les plus pauvres en fer. Les minerais siliceux sont toujours friables.

La teneur en fer varie en général de 30 à 36 pour 100 ; dans quelques échantillons elle peut s'élever à 48 pour 100. Quand elle descend au-dessous de 30 pour 100, le minerai n'est guère

utilisable que si la gangue est très calcaire. On peut même employer comme castine des calcaires à 20 pour 100 de fer. Les minerais que l'on recherche surtout sont ceux qui unissent à une teneur convenable en fer une composition de gangue telle qu'on puisse les fondre seuls sans addition d'autres matières.

Ces minerais sont toujours impurs. Les substances étrangères les plus nuisibles sont le phosphore, qui y entre dans la proportion de 0,2 à 1 pour 100 et passe en majeure partie dans la fonte, et le soufre, dont la proportion ne dépasse guère quelques dix millièmes. Le phosphore est à l'état de phosphate, le soufre de pyrite ou de sulfate de chaux. Nous citerons aussi, à cause de leur intérêt, quelques métaux rares tels que le titane, en particules indiscernables qui se concentrent dans les creusets des hauts-fourneaux où on les retrouve après chaque campagne, et le vanadium qui passe dans les laitiers et dont l'industrie des couleurs fait maintenant un si grand usage.

Les couches de minerai sont rarement homogènes sur toute leur épaisseur; elles se composent en général de bancs superposés dont la composition est différente. L'argile et la marne sont le plus souvent inégalement réparties et se trouvent en veines discontinues parallèles à la stratification, ou en nodules irrégulièrement disséminés. Le calcaire, souvent composé presque entièrement de débris de fossiles, forme aussi des veines parallèles ou obliques à la stratification, ou de gros ovoïdes. Certaines couches sont traversées dans tous les sens par des veinules d'hématite brune.

La puissance présente également de grandes variations. Les divers bancs ferrugineux qui constituent une couche s'amincissent en direction ou se chargent de veines de marne et passent progressivement à des bancs stériles. Parfois cependant, la puissance et la composition peuvent se conserver sans altération sur des étendues de quelques kilomètres.

Le nombre des couches de minerai n'est pas constant. Dans son ensemble, la formation ferrugineuse a une épaisseur de quelques mètres à une trentaine de mètres et comprend de une à quatre couches séparées par des intervalles stériles marneux. C'est dans les environs d'Ottange, sur la frontière d'Alsace-

Lorraine, que la puissance paraît atteindre son maximum ; l'épaisseur utile des couches ferrugineuses réunies y est de 8 à 10 mètres.

On donne à ces diverses couches des noms qui rappellent leur aspect le plus fréquent : *couche rouge*, *couche grise*, *couche jaune*, *couche verte*, etc. Mais ce sont des dénominations purement locales, car, d'une localité à l'autre, les couches peuvent prendre des apparences différentes et ne sont assimilables que par leurs positions relatives et leurs fossiles.

704. Exploitation du minerai de fer. — Ce qui fait la valeur du minerai liasique, ce n'est, comme on voit, ni sa teneur qui est fort peu élevée, ni sa qualité, qui est médiocre ; c'est son abondance et son faible prix de revient. Grâce aux conditions dans lesquelles il se présente, il est d'une exploitation très facile et on pourrait citer des mines où il ne revient pas à plus de 2 francs la tonne rendue au gueulard du haut-fourneau.

Il y a une cinquantaine d'années, la richesse de ce gisement était à peine soupçonnée. Il avait cependant été déjà l'objet d'anciens travaux d'exploitation, dont quelques-uns remontent à une date très reculée, antérieure probablement au VIe siècle, si l'on en juge par les débris d'armes, d'outils, de poteries, qu'on y a rencontrés. Mais ces travaux, peu étendus, n'avaient attaqué que les affleurements sur les flancs des coteaux, ou des éboulis, et ils n'avaient pas permis de reconnaître la continuité du gîte en profondeur. Les concessions de Moyeuvre et d'Hayange (actuellement en Alsace-Lorraine), sont les premières qui aient été délimitées, en 1834.

Depuis cette époque, et surtout depuis 1860, l'exploitation du minerai de fer en Lorraine s'est rapidement développée. En 1884, le département de Meurthe-et-Moselle a livré à la métallurgie 1.980.000 tonnes de minerai, ce qui représente les deux tiers de la production de la France. De nombreux hauts-fourneaux, élevés dans les environs de Nancy et de Longwy, fondent sur place la plus grande partie de ce minerai, à l'aide duquel ils ont obtenu, pendant cette même année, 747.300 tonnes de fonte.

Jusque dans ces derniers temps, les fontes lorraines, à cause de leur forte teneur en phosphore, ne pouvaient donner que des fers médiocres et elles étaient considérées comme impropres à la fabrication de l'acier. Le procédé Thomas Gilchrist, qui a résolu d'une façon si heureuse le problème de la déphosphoration, que l'on regardait autrefois comme la pierre philosophale de la métallurgie, est appelé à accroître l'importance de ce centre industriel, en permettant de faire avec des fontes déphosphorées des aciers de bonne qualité. Il est curieux de constater à ce sujet que ce sont précisément les pays auxquels il était interdit jusqu'alors de produire de l'acier qui vont avoir, pour ainsi dire, le monopole de cette fabrication.

Les scories provenant de ce traitement métallurgique renferment jusqu'à 15 pour 100 d'acide phosphorique à l'état de phosphate tribasique de chaux et de magnésie. Elles sont recherchées par l'agriculture, à laquelle le phosphore est aussi utile qu'il est nuisible à la métallurgie.

Méthodes d'exploitation. — Le minerai de fer n'est exploité à ciel ouvert que dans les environs de Longwy. On y attaque la formation ferrugineuse et les terrains qui la recouvrent soit en descendant verticalement sur toute la hauteur, soit par gradins successifs correspondant aux couches ferrugineuses et aux matières stériles. Quand la hauteur de découvert dépasse une dizaine de mètres, il y a intérêt à exploiter souterrainement.

Cette dernière méthode ne porte guère aujourd'hui que sur les parties du gîte voisines des affleurements et situées au-dessus du fond des vallées, en sorte que l'extraction du minerai et l'épuisement des eaux s'opèrent facilement par des galeries percées à flanc de coteau.

On pratique un dépilage aussi complet que possible, en laissant s'ébouler le toit. Il en résulte des mouvements de terrain qui se prolongent presque toujours jusqu'à la surface du sol en y produisant des crevasses et des dénivellations. L'inconvénient de ces dégâts superficiels est généralement faible, car le dommage causé n'est que momentané.

Mais partout où il faut protéger le sol, comme sous les habitations, les voies de communication, ou les sources utilisées,

il est nécessaire de laisser en place une partie des piliers ou mieux de réserver un massif dans lequel on ne trace que les galeries indispensables au service intérieur de la mine.

705. Considérations pratiques sur le lias lorrain et ardennais. — Dans son ensemble, le lias de la Lorraine et des Ardennes est essentiellement argileux. Aussi le sol qu'il constitue consiste généralement en plaines ou coteaux à pentes douces et arrondies ; les vallées y sont larges et les bancs de calcaire intercalés dans les marnes forment seuls des escarpements qu'on reconnaît de loin à leur saillie plus ou moins prononcée. Les pluies, en ravinant les roches supérieures, tendent constamment à diminuer les pentes et entraînent dans le fond des vallées la terre meuble et les débris de roches calcaires qui les recouvrent.

Les lignes naturelles de cassure aident puissamment aux éboulements, ainsi que le fait remarquer M. Braconnier, en découpant les roches sous forme de grands coins à angle droit et en permettant l'accès des eaux pluviales qui viennent imprégner les assises inférieures et faciliter la chute de ces coins. Il est dangereux d'ailleurs de surcharger ces terrains marneux quand ils sont notablement inclinés ; c'est ainsi qu'il y a une dizaine d'années les déblais d'une minière, accumulés près de Ludres, se sont enfoncés dans les marnes détrempées en soulevant et bouleversant les terrains sur une dizaine d'hectares.

Les constructions sur les pentes marneuses exigent des précautions spéciales. Il faut d'abord capter et détourner les eaux qui glissent entre les éboulis superficiels et les marnes en place, puis pousser les fondations jusque dans les marnes compactes et non détrempées. Avec des fondations insuffisantes, les constructions descendent d'une façon continue et très sensible suivant la pente du sol. L'inobservation de ces précautions a sérieusement compromis la façade du château de Pixérécourt, qui s'est détachée peu à peu du reste du bâtiment.

Il faut également éviter d'entamer les argiles quand elles sont situées au bas d'un coteau tant soit peu élevé. Lors de la construction du chemin de fer de Paris à Strasbourg, une tranchée pratiquée dans les marnes à ovoïdes, près de Champi-

gneulles, a provoqué un éboulement qui, se propageant jusqu'au sommet de la côte, a déterminé la chute d'une masse assez considérable de roches appartenant à l'oolithe inférieure et a nécessité un changement de direction dans le tracé de la voie ferrée.

Le lias étant imperméable, on y trouve beaucoup de petits cours d'eau torrentiels qui se gonflent subitement après chaque pluie. Partout où l'on a à exécuter des fossés, ou des aqueducs sous les routes et les chemins de fer, il faut tenir compte de cette circonstance et leur donner une large ouverture.

A l'exception des grès de la partie inférieure, les roches liasiques fournissent généralement des terres assez riches en chaux, acide phosphorique et potasse, et contenant par suite tous les éléments d'une grande fertilité. Cependant les herbages réussissent mieux sur la plupart de ces terres que les céréales.

§ IV.

LIAS DE LA BOURGOGNE.

706. Infralias. — Les couches de calcaire à chaux hydraulique et à ciment que l'on trouve à plusieurs niveaux dans le lias de la Bourgogne donnent à l'étude de ce terrain un intérêt tout spécial au point de vue de l'art des constructions.

Les premières couches infraliasiques ne se distinguent pas toujours très nettement du trias auquel elles sont superposées. Dans l'Autunois, ce sont des grès, où l'on rencontre fréquemment l'*Avicula contorta*, auxquels succèdent des calcaires gris siliceux, propres à la fabrication de la chaux hydraulique, puis des grès grossiers et des argiles bariolées, vertes et rouges, contenant le même fossile. Trois *bone-beds* à débris de

poissons sont intercalés dans cet ensemble, qui représente le *rhétien* et dont l'épaisseur est de 10 à 14 mètres.

Dans l'Auxois, le rhétien n'a, d'après M. Collenot, que 2 à 3 mètres et consiste surtout en grès accompagnés de marnes, de calcaires marneux et de lumachelles, dont les fossiles sont identiques à ceux de l'Autunois.

A Pouilly, on exploite un calcaire marneux, marbré de gris et de blanchâtre, intercalé dans les marnes sous forme d'une lentille très aplatie dont l'épaisseur est quelquefois de près d'un mètre. Il fournit par la calcination un ciment de couleur foncée, ce qui lui a fait donner le nom de *ciment noir* sous lequel on le désignait lors de l'exécution des travaux du canal de Bourgogne, pour le distinguer du *ciment gris* que l'on fabrique dans la même localité et qui provient de l'étage liasien.

Les argiles rhétiennes présentent, sous le rapport de la cohésion, des propriétés sur lesquelles il est nécessaire d'attirer l'attention. Quand elles sont imprégnées d'humidité, elles sont fort consistantes et peuvent être tranchées verticalement sur une hauteur de 3 ou 4 mètres ; elles se soutiennent ainsi tant qu'elles restent humides, mais du moment où elles se dessèchent, elles perdent leur cohérence et tombent par fragments plus ou moins volumineux. L'argile verte surtout offre ce phénomène à un degré remarquable.

D'un autre côté, ces mêmes argiles, lorsqu'elles sont fortement humectées, se délayent et deviennent fluentes au point de se transformer en une sorte de liquide visqueux incapable de se tenir sous un talus quelconque.

Ce sont ces argiles que l'on a rencontrées lors de la construction du bief de partage du canal du Nivernais, partout avec les mêmes caractères, et qui ont créé de si grandes difficultés aux ingénieurs chargés de diriger les travaux.

L'hettangien est également peu épais. Il se compose essentiellement d'une lumachelle, dite *lumachelle de Bourgogne* ou *pierre bise* des carriers, et d'un calcaire marneux jaunâtre ou *foie de veau.*

La lumachelle renferme beaucoup de fossiles et notamment le *Cardinia concinna ;* c'est la zone à *Ammonites pla-*

norbis. On l'exploite comme pierre de taille à Saulieu, où elle est connue sous le nom de *pierre de serpentine*. C'est à cette zone qu'appartiennent les minerais de fer de Thostes et de Beauregard, dans lesquels les fossiles offrent cette curieuse particularité d'avoir leur test transformé en oligiste par épigénie.

Le foie de veau, ou zone à *Ammonites angulatus*, est également très fossilifère.

En plusieurs points du Morvan, l'étage hettangien est séparé du granite par une arkose provenant de la destruction de cette roche et qui se lie souvent à la partie inférieure du lias. Il en résulte une assise mixte, habituellement durcie par des effluves siliceuses d'époque triasique, qui l'ont pénétrée et qui y ont introduit des minerais métalliques, tels que l'oligiste et la galène, et des minerais pierreux comme la fluorine et la barytine. Ces émanations souterraines se font même sentir jusque dans le calcaire à gryphées arquées.

707. Lias proprement dit. — Le *sinémurien*, dont l'épaisseur ne dépasse pas 7 à 8 mètres, se compose de bancs noduleux, irréguliers, d'un calcaire argileux gris bleuâtre, à cassure esquilleuse, ou *pierre noire* des carriers, dans lesquels les fossiles sont nombreux (*Gryphæa arcuata*, *Ammonites bisulcatus*, *Belemnites acutus*, *Spiriferina Walcoti*) et qui sont séparés par des couches argileuses. Les ammonites y ont quelquefois une taille gigantesque ; elles peuvent atteindre plus d'un mètre en diamètre.

Le calcaire à gryphée arquée est souvent propre, comme en Lorraine et dans les Ardennes, à la fabrication de la chaux hydraulique. Il est parfois très dur et fournit alors de bons matériaux pour l'empierrement des routes. On peut aussi en faire des moellons de petite hauteur qui, à cause de la rugosité de leur surface, ont la propriété de bien adhérer au mortier, mais qui ont souvent le grave inconvénient de se déliter à la longue.

A la partie supérieure de cet étage se trouvent des nodules phosphatés, signalés pour la première fois en 1822 par de Bonnard et analogues à ceux qui existent dans les Vosges au

même niveau géologique ; leur teneur en phosphate de chaux est de 60 à 65 0/0. D'après M. Collenot, on les rencontre aussi dans un limon argileux, de couleur jaune foncé, assez souvent noirâtre, avec grains de minerai de fer, connu dans le pays sous le nom de *mâchefer* ou de *cran*, qui recouvre les bancs de calcaire à gryphée arquée sur une épaisseur variant de quelques centimètres à 2 ou 3 mètres, et qui n'est autre chose que le résidu de la dissolution de ce calcaire par des eaux acides.

Depuis 1876, on exploite ces phosphates dans l'Auxois, notamment sur les plateaux des environs de Semur. Le lit de nodules, dont l'épaisseur est de 5 à 40 centimètres, ressemble souvent, suivant l'expression de M. Risler, à un vieil empierrement de route entamé par la pioche des ouvriers ; il n'est pas à plus de 2 mètres de profondeur au-dessous du sol. Quelquefois même le dépôt est assez superficiel pour être retourné par la charrue.

Le calcaire à gryphée arquée, qui forme la base de la plupart des coteaux de l'Auxois, est recouvert par l'*étage liasien*, de 80 à 90 mètres d'épaisseur, formé à sa partie inférieure par une assise de calcaire à bélemnites, à laquelle succèdent une puissante assise de marnes micacées, souvent pyriteuses, puis des bancs de calcaire noduleux à *Gryphæa cymbium* de grande dimension.

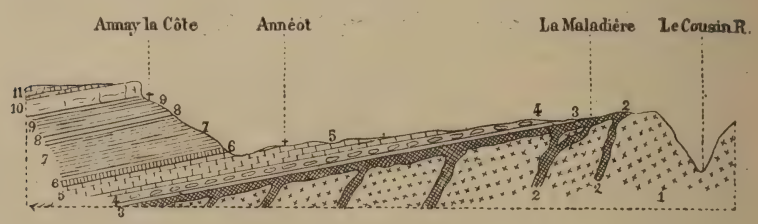


Fig. 357. — Coupe du lias dans les environs d'Avallon. — 1, granulite ; 2, quartz d'épanchement triasique ; 3, zone à *Ammonites planorbis* ; 4, zone à *Ammonites angulatus* ; 5, calcaire à gryphées arquées ; 6, calcaire à bélemnites ; 7, marnes liasiennes ; 8, calcaire noduleux à *Gryphæa cymbium* ; 9, marnes toarciennes ; 10, calcaire à entroques du bajocien.

Le calcaire à bélemnites est très fossilifère. C'est à ce ni-

veau qu'on exploite le calcaire à ciment de Pouilly, Venarey, etc.

Le *toarcien,* dont l'épaisseur est de 25 à 30 mètres, est presque entièrement argileux. Quelques bancs minces de calcaire argileux y sont intercalés, surtout à la base dans la zone à *Ammonites serpentinus*. Le célèbre ciment romain de Vassy, près d'Avallon, est fabriqué avec ce calcaire.

A Thisy, il y a au même niveau des schistes bitumineux à posidonies, contenant de 2 à 3 pour 100 d'huile minérale, avec des vertèbres de sauriens.

La coupe de la figure 357, empruntée à M. Vélain, montre la disposition relative des assises liasiques dans les environs d'Avallon.

708. Caractères orographiques et agronomiques. — Le lias constitue en Bourgogne une région naturelle dont Belgrand a parfaitement fait ressortir les caractères. « Point de contraste plus frappant, dit-il, que celui que présente le passage des roches dures du granite et du grès aux terrains mous des deux étages supérieurs du lias. Les vallées resserrées et contournées s'élargissent brusquement. Leurs pentes abruptes, hérissées de roches à pic, font place à des plateaux faiblement inclinés, et les torrents remplis d'énormes cailloux roulés et encaissés dans des lits profonds à des ruisseaux dont les rives, légèrement concaves, vont se raccorder par une courbure régulière au pied des coteaux voisins. Les eaux limpides, mais colorées en bistre par le granite, font place à des eaux boueuses après les crues, toujours d'un ton louche, même par le beau temps. Les bois deviennent rares et sont remplacés par de riches cultures. La bruyère, la digitale, le genêt, ont complètement disparu. Les sommets des coteaux s'arrondissent et s'éloignent du fond de la vallée ; la vigne s'y développe, sans donner toutefois des vins aussi estimés que ceux des terrains oolithiques. Les plateaux tourmentés du granite font place à des plaines ondulées, les terres légères et arénacées à un sol argileux et compact. »

Comme en Lorraine, les marnes et les calcaires du lias bourguignon donnent généralement des terres fertiles, mais

qui ont l'inconvénient d'être humides, tenaces, difficiles à travailler, et ce n'est que grâce à leur richesse en chaux, en acide phosphorique et en potasse que la petite culture a pu s'y maintenir jusqu'à présent.

Il y aurait grand avantage, suivant M. Risler, à couvrir de prés ces terres si disposées à en produire. Le lias est en effet par excellence le sol des riches herbages ; déjà dans le Charolais c'est sur ce terrain que se trouvent les pâturages. C'est là qu'on a formé cette belle race de bêtes à cornes que l'on appelle la *race charolaise* et qui se répand peu à peu dans tout le centre de la France, en suivant en quelque sorte les affleurements liasiques et débordant sur les autres à mesure que les amendements calcaires y transforment les fourrages.

Les roches du lias lui-même aident puissamment d'ailleurs à cette transformation. Les carrières des environs de Genelard expédient par le canal du Centre des quantités énormes de calcaire à gryphées arquées, que l'on emploie pour l'amélioration des terres granitiques du Plateau Central.

§ V.

TYPES DIVERS DU LIAS.

709. Normandie. — Le rivage occidental du bassin anglo-parisien est bordé par une bande liasique adossée au massif paléozoïque de l'Armorique et qui s'étend de Valognes jusqu'aux rives du Loir. Mais le lias ne repose pas partout directement sur ce massif ; il en est parfois séparé par des dépôts triasiques que l'on voit apparaître à la surface du sol dans le Cotentin.

Là le trias se compose de graviers, de poudingues, de sables, de grès et de marnes rouges, d'une soixantaine de mètres de puissance, en stratification discordante sur les schistes. Ces roches, qui sont sur le prolongement des affleurements triasi-

ques du Somersetshire, paraissent représenter la partie supérieure des marnes irisées.

Infralias. — Au-dessus, vient un grès dolomitique, de trois mètres seulement d'épaisseur, avec empreintes végétales et des fossiles des genres *Myophoria*, *Mytilus*, que les géologues normands assimilent à l'*étage rhétien.*

L'*étage hettangien,* ou *lias blanc*, consiste en marnes et en couches d'un calcaire blanc ou jaunâtre, très dur, le plus ordinairement siliceux, quelquefois même assez chargé de silice pour passer au grès. Parmi les principaux fossiles de ce calcaire, nous citerons le *Cardinia concina* et le *Pecten valoniensis.*

A Valognes et à Osmanville, on exploite le calcaire hettangien dans de grandes carrières qui donnent une pierre de taille de bonne qualité, employée pour les édifices publics et les constructions particulières du département de la Manche.

Lias proprement dit. — Le lias proprement dit n'a pas plus de 50 à 60 mètres d'épaisseur dans le Calvados ; il se réduit même à 1 mètre dans l'Orne, où l'on peut observer sa superposition directe au granite. Cependant, malgré cette faible puissance, les trois étages s'y distinguent presque toujours aussi nettement que dans l'est de la France.

L'*étage sinémurien* est formé par des argiles bleuâtres schisteuses et des calcaires argileux à cassure terreuse en lits minces. Les gryphées arquées y abondent, surtout dans les argiles, et sont accompagnées d'*Ammonites bisulcatus*, *Belemnites acutus*, etc. On donne à cet étage le nom de *lias bleu* (*blue lias* des Anglais), par opposition au *lias blanc* d'Osmanville et Valognes.

Les *étages liasien* et *toarcien* sont presque exclusivement argileux et marneux. Des fossiles nombreux et variés permettent d'y établir plusieurs zones.

Le premier de ces deux étages, riche en bélemnites, s'appelle, à cause de cette circonstance, *lias à bélemnites.* On y trouve *Terebratula numismalis*, *Gryphæa cymbium*, *Ammonites margaritatus*, etc. Les argiles prédominent à la base ; il n'y a de calcaires qu'à la partie supérieure.

L'étage toarcien est remarquable par les rognons calcaires ou *miches* qu'il renferme et dans lesquels on trouve des restes de sauriens et des poissons (la Caine, Curcy, dans le Calvados). Quelques-uns de ces poissons tiennent encore dans leur cavité stomacale de petites ammonites qui servaient à leur nourriture et dont la dernière loge a été exceptionnellement conservée.

Les affleurements du lias donnent le plus souvent des terres argilo-calcaires qui se prêtent bien à la culture. Telles sont les collines fertiles qui dominent les *grèves* conquises sur la mer dans le sud-est de la presqu'île du Cotentin. Les herbages célèbres du Bessin, entre Isigny et Bayeux, s'étendent en grande partie sur le lias, masqué çà et là par des dépôts d'alluvion.

710. Mont d'Or lyonnais. — Le Mont d'Or lyonnais est un petit massif montagneux que contourne la Saône au nord de Lyon et qui se rattache au Plateau Central. Il est constitué par des gneiss servant de support à des terrains sédimentaires en couches peu inclinées. De nombreuses failles le découpent suivant des lignes qui se croisent dans plusieurs sens. Il aurait dû résulter de cette disposition une série multipliée d'escarpements ; mais les terrains jurassiques n'avaient pas assez de consistance pour garder des profils anguleux, leurs aspérités se sont arrondies et leurs arêtes se sont écroulées en formant sur les pentes des talus d'éboulement.

Les premiers dépôts qui recouvrent les gneiss appartiennent au *trias*, qui présente ses trois termes, grès bigarré, muschelkalk et marnes irisées.

Le *rhétien*, qui vient ensuite, consiste en grès quartzeux, cargneules tenaces plus ou moins caverneuses, calcaires roussâtres, et marnes ressemblant, à s'y méprendre, à celles des marnes irisées et teintées comme elles de nuances variées ; quelques lits marneux sont durcis.

L'*hettangien* offre les deux zones de l'*Ammonites planorbis* et de l'*Ammonites angulatus*. La première, dont l'épaisseur est d'une quinzaine de mètres, se compose de marnes ocreuses jaune clair, alternant avec des bancs calcaires grisâtres et

contenant de nombreux fossiles, auxquelles succède un calcaire très dur, subcristallin, puis un calcaire gris compact à grain fin. Le calcaire dur du milieu est exploité sous le nom de *choin bâtard ;* son épaisseur varie de 3 à 5 mètres et il donne de beaux matériaux de construction, surtout à sa partie supérieure.

La zone à *A. angulatus* est formée par des grès à grains de quartz hyalin réunis par un ciment calcaire ocreux assez abondant. Ces grès se désagrègent facilement à l'air. Les fossiles y abondent et sont souvent silicifiés.

Le *sinémurien* comprend des calcaires généralement durs, en petits bancs séparés par de très minces lits terreux. Quelques bancs sont tendres et s'exfolient à l'air. On trouve dans cet étage des matériaux de construction de grand appareil, des marbres noirs grossiers et des pierres à chaux grasse.

Le *liasien* se compose de marnes puissantes intercalées entre des calcaires ; ceux de la partie inférieure contiennent beaucoup de bélemnites.

Le *toarcien* consiste en marnes rougeâtres d'une faible épaisseur surmontées par un calcaire ferrugineux à *Ammonites opalinus*. A la Verpillière, on exploite au-dessous de ce calcaire une couche de minerai de fer oolithique.

Enfin la série se termine par des calcaires appartenant à la base du système oolithique.

711. Corrèze. — Le lias affleure d'une manière à peu près continue sur la lisière occidentale du Plateau Central, depuis Poitiers jusqu'à Bruniquel près de Montauban.

D'après M. Mouret, il repose nettement en discordance de stratification sur le trias, sur le permien ou sur les schistes anciens aux environs de Brive (Corrèze). Il commence généralement dans cette région par des grès très quartzeux, à grains assez gros, blanchâtres ou jaunâtres, passant quelquefois à des sables, qui ne se distinguent pas toujours aisément de ceux du trias. On observe ces grès dans la tranchée du chemin de fer de Nontron à Sarlat, où ils sont presque toujours très durs et susceptibles de fournir de beaux moellons. On n'y rencontre guère, en fait de fossiles, que de très rares empreintes de tiges, toujours indéterminables.

Au-dessus viennent des alternances d'argiles vertes, rouges, lie-de-vin ou noirâtres, et de calcaires compacts blanc jaunâtre, souvent très durs, d'une épaisseur de 25 mètres. Ces argiles se transforment quelquefois presque entièrement en des bancs de jaspe.

Ce sont ensuite des calcaires compacts gris bleuâtre, en bancs réguliers séparés par des lits minces d'argile ou de marne feuilletée, à peu près dépourvus de fossiles, comme du reste les assises précédentes. Postérieurement à leur dépôt, ces bancs calcaires ont souvent subi des phénomènes d'altération ; ils se sont transformés en calcaires plus ou moins cristallins ou bien en cargneules.

Toutes les couches que nous venons de décrire appartiennent à l'infralias. Les grès et les argiles bariolés paraissent correspondre à l'*étage rhétien*, le reste à l'*hettangien*.

Le lias proprement dit présente la succession assez nette des trois étages classiques. On aperçoit d'abord au-dessus de l'hettangien des calcaires compacts, très durs, avec noyaux d'une teinte gris bleu, dont les fossiles, rarement reconnaissables, consistent surtout en bélemnites. Quoique la gryphée arquée, le fossile caractéristique par excellence du *sinémurien*, y fasse défaut, les fossiles que l'on a pu déterminer permettent de les rapporter à cet étage.

A ces calcaires succèdent des argiles grises schisteuses contenant des bancs ou des *miches* de calcaire compact caverneux. A la partie supérieure, les argiles sont noirâtres et renferment quelques lits minces de lignite. Un banc de calcaire avec jaspes et grès jaspés termine cette série qui, d'après ses fossiles (*Ammonites margaritatus*, *Belemnites clavatus*, *Gryphæa cymbium*), correspond bien au *liasien*.

Au-dessus se montrent des argiles compactes, dures, schisteuses, noirâtres, imprégnées de pyrite, renfermant quelques lits minces de calcaire grisâtre ou bleuâtre, qui représentent le *toarcien* dont elles contiennent les fossiles caractéristiques. Elles sont couronnées par des couches calcaires, qui forment la base des falaises du système oolithique dans les vallées au sud de Brive.

712. Lisière méridionale du Plateau Central. — Le lias suit toutes les anfractuosités du Plateau Central sur sa bordure méridionale. Là il débute encore, comme sur la lisière sud-ouest, par un grès blanc, quartzeux, auquel succède dans l'Aveyron un grès feldspathique blanc grisâtre, sorte d'arkose susceptible de fournir de bonnes pierres de taille. On a employé ces matériaux pour les monuments et les travaux publics du pays, notamment à la cathédrale de Rodez et au viaduc de Lauterne.

En quelques points, entre autres à la Défriche près de Lodève, un banc calcaire intercalé dans le grès feldspathique renferme l'*Avicula contorta* et établit nettement l'assimilation de cette assise au *rhétien*.

L'*hettangien* est représenté par des calcaires dolomitiques blancs, compacts, qui dans le Gard atteignent jusqu'à 100 mètres de puissance et forment des bancs de $0^{m},50$ à 1 mètre d'épaisseur, nettement stratifiés, en général gris foncé, quelquefois jaune clair. Ces calcaires sont fissurés et on y trouve de nombreuses grottes. Quand l'exposition est favorable, leurs pentes conviennent bien à la vigne.

Les couches à gryphées arquées paraissent manquer dans cette région. On rapporte au *sinémurien*, dans le Gard, des calcaires compacts, très durs, à pâte fine, que l'on exploite comme pierres à chaux et qui donnent souvent des terres fertiles, mais peu profondes et craignant la sécheresse. Dans l'Aveyron, cet étage a les mêmes caractères pétrographiques que dans le bassin de Paris ; ce sont des calcaires bleuâtres en bancs minces, à peu près dépourvus de fossiles.

Le *liasien* atteint une grande puissance dans le Gard (150 à 200 mètres). Il consiste en bancs calcaires à *Gryphæa cymbium*, ordinairement gris de fumée, à cassure largement conchoïdale, rude au toucher, dont la surface devient jaunâtre sous l'influence de l'air. On y rencontre en abondance des nodules siliceux jaunâtres ; souvent même les couches sont silicifiées sur une forte épaisseur et elles ont alors une consistance terreuse. Ces bandes siliceuses ne conviennent qu'au châtaignier, tandis que le chêne blanc réussit bien dans les calcaires.

Le *toarcien*, dont la puissance est de 100 mètres dans le Gard, s'y divise en deux sous-étages. L'inférieur consiste en marnes noires, bitumineuses, schisteuses et très solides, se séparant quelquefois en feuillets minces comme des ardoises ; on voit souvent entre ces feuillets des pyrites de fer, des plaquettes de lignite ou des nodules de calcaire marneux compact qui contiennent des ammonites et des bélemnites. Le sous-étage supérieur se compose de marnes gris clair ou un peu jaunâtre, friables, avec quelques couches de calcaire grisâtre plus ou moins schisteux. Ces marnes sont infertiles par elles-mêmes, mais elles deviennent propres à la culture quand elles sont amendées par du calcaire ou du sable.

Le toarcien de la Lozère, composé de schistes bitumineux dits *schistes cartons*, est remarquable par sa richesse en fossiles, notamment dans les environs de Mende, où il apparaît au fond des vallées. On y trouve des ammonites pyritisées, des poissons de plusieurs genres, etc.

713. Provence. — Le lias a en Provence les mêmes fossiles que dans le bassin de Paris, mais son faciès est différent. Il est constitué par une longue série de calcaires compacts et de schistes marneux, de couleur foncée, alternant ensemble sur une épaisseur qui peut dépasser 700 mètres, et forme à l'est de Digne une série de monticules allongés, aux flancs arrondis et arides, séparés par de nombreux ravins qui donnent autant de coupes naturelles offrant aux géologues un vaste champ de recherches. Voici, d'après M. Garnier, quelle est la succession de ses assises.

Au-dessus des dolomies triasiques se présentent d'abord des bancs de grès grisâtre, puis des schistes et des calcaires à *Avicula contorta*, couronnés par des calcaires sans fossiles. Ces couches représentent le *rhétien ;* elles ont une puissance de 45 mètres environ.

L'*hettangien* (35 à 40 mètres) comprend des calcaires compacts, généralement durs et noirâtres, dans lesquels on distingue les deux zones à *Ammonites planorbis* et *A. angulatus*.

Le *sinémurien* forme, au point de vue pétrographique, un

ensemble bien homogène. C'est une succession de calcaires plus ou moins marneux, de couleur foncée, disposés par bancs d'une épaisseur inférieure à 30 centimètres, alternant avec des schistes argileux. On y trouve la gryphée arquée, ainsi que d'autres fossiles qui abondent surtout dans les couches supérieures. Son épaisseur est de 84 mètres.

Le *liasien*, dont la puissance est de 270 mètres, débute par des calcaires d'aspect bréchiforme, pauvres en fossiles, en bancs fortement ondulés. Cette structure paraît due aux mouvements qui ont disloqué les couches et qui ont rempli leurs fissures d'éclats anguleux, resoudés après coup.

A ces calcaires bréchiformes succèdent des calcaires marneux et des marnes bleuâtres, puis des calcaires en gros bancs, très durs, formant dans le sud du départements des Basses-Alpes de grands escarpements reconnaissables à leur profil abrupt et à leur couleur rougeâtre qui tranche bien sur la couleur noire ou grise des assises voisines. On y rencontre surtout, en fait de fossiles, le *Gryphæa cymbium*.

Viennent ensuite des schistes marneux, bruns et bleuâtres, renfermant des fossiles à l'état de moules comprimés et quelques empreintes d'*Ammonites margaritatus* écrasées, et enfin des calcaires fossilifères très durs, passant presque à un véritable grès et dont le dernier banc est pétri de bélemnites déformées.

Ce banc présente une surface irrégulière et comme usée par les eaux. On peut en conclure avec M. Hébert qu'après le dépôt du liasien, il y a eu arrêt dans la sédimentation. Il y a là en effet une lacune correspondant aux marnes à posidonies de la Lorraine, et le *toarcien* commence par des calcaires noduleux très minces à *Ammonites bifrons*, se continue par une assise puissante de schistes noirs à *Ammonites radians* avec larges empreintes végétales, puis par des alternatives de schistes et de calcaires marneux sans fossiles, et se termine par des calcaires à *Ammonites opalinus*.

Les schistes noirs l'emportent de beaucoup sur les autres couches dans cet étage, dont l'épaisseur totale est de 300 mètres. Ils occupent de vastes étendues ; sans cesse dégradés par les eaux pluviales, profondément découpés par de nom-

breux ravins aux flancs abrupts, ils offrent l'image de la stérilité absolue.

714. Angleterre. — Le lias anglais, dont l'épaisseur est de 260 à 500 mètres, se compose, comme en France, d'une alternance de bandes argileuses, de couleur foncée, avec des couches d'un calcaire généralement gris ou bleu dont la surface, exposée à l'air, se colore légèrement en brun, ce qui donne aux fronts de taille des carrières une apparence rubanée.

Le *rhétien* se lie intimement au trias, comme le prouvent les lits de marnes rouges et vertes qui alternent à sa base avec des calcaires et des argiles schisteuses noires. On y trouve un *bone-bed* consistant en un grès pyriteux et micacé avec ossements.

L'*hettangien* est représenté par le *lias blanc*, dont la couleur tranche avec celle du calcaire à gryphées ou *lias bleu*, qui le surmonte. C'est un ensemble de lits très minces alternatifs de calcaire compact blanc ou blanc jaunâtre et d'argile. Il renferme des fossiles de la zone à *Ammonites angulatus* ; dans le Gloucestershire, l'un de ses lits, dont l'épaisseur n'est que de 30 centimètres, est tellement pétri de débris d'insectes, mêlés parfois à des plantes et à des coquilles marines, qu'il a reçu le nom de *calcaire à insectes*. Ces circonstances indiquent que le dépôt a dû se faire à une faible distance des côtes.

Le *sinémurien* comprend des couches de calcaire bleu argileux, séparées par des lits d'argile gris bleuâtre, que l'on exploite activement pour la fabrication de la chaux hydraulique dans presque toutes les régions où il affleure. La gryphée arquée est l'un de ses fossiles les plus caractéristiques.

C'est dans cet étage que l'on a trouvé, à Lyme-Regis et sur d'autres points, des squelettes presque complets d'ichthyosaure et de plésiosaure qui ont dû être enfouis sous les sédiments aussitôt après leur mort, car on rencontre rarement un seul os, une seule écaille, dérangés de la position qu'ils occupaient du vivant de l'animal. Le contenu de leur estomac subsiste encore intégralement dans la cavité thoracique, si

bien que l'on peut reconnaître l'espèce particulière de poisson dont ils se nourrissaient et distinguer la forme des excréments transformés en coprolithes. On trouve aussi dans le lias de Lyme-Regis de nombreux échantillons de bélemnites, ainsi que des poches à encre encore gonflées et contenant de la matière noire desséchée, composée principalement de carbone. Ces céphalopodes, comme les sauriens, ont été enfouis subitement, car s'ils fussent longtemps restés exposés aux agents extérieurs, la membrane qui renferme l'encre se serait bientôt altérée.

Le *liasien* à *Ammonites margaritatus*, argileux à la base, passe à sa partie supérieure à un grès tendre sableux, brun et ferrugineux. Dans le Cleveland, on y exploite activement un lit de fer carbonaté terreux, de 5 à 6 mètres de puissance.

Le *toarcien*, essentiellement argileux, renferme quelques lits de calcaire noduleux avec *Ammonites serpentinus* ; il est souvent schisteux. A Whitby, on y trouve du jais formé aux dépens de tiges de conifères. Dans quelques parties du pays de Bath, il se termine par une marne sableuse qui participe des caractères minéralogiques du lias et de l'oolithe et qui renferme des fossiles communs aux deux systèmes, tels que l'*Avicula inæquivalvis* ; c'est une zone de transition.

C'est sur les argiles et les marnes du lias que s'étendent les beaux herbages de la vallée de Gloucester.

CHAPITRE XVIII

PÉRIODE OOLITHIQUE

§ I. Caractères de la période oolithique.— § II. Système oolithique de l'est de la France. — § III. Système oolithique en Normandie. — § IV. Massif du Jura. — § V. Types divers du système oolithique.

§ I.

CARACTÈRES DE LA PÉRIODE OOLITHIQUE.

715. Conditions physiques. — Les conditions physiques de cette période diffèrent peu de celles de la période précédente. Les sédiments se déposent encore au milieu d'un calme parfait, au moins dans la mer anglo parisienne ; de vastes récifs de polypiers s'élèvent çà et là et il se forme à diverses reprises de puissantes couches de calcaire oolithique, ce qui justifie le nom de *système oolithique* donné à tout l'ensemble.

Les détroits qui séparaient les îlots de terrains anciens achèvent de se combler ; vers le milieu de la période, le détroit vosgien et le détroit armoricain sont déjà transformés en isthmes qui soudent le Plateau Central, d'une part aux Vosges, de l'autre à la Vendée.

La chaleur et la lumière étaient encore distribuées à peu près uniformément à la surface du globe, si l'on en juge par les observations faites sur la faune et la flore oolithiques en

différents points du globe. Ainsi, par 71 degrés de latitude nord, on a constaté l'existence de plantes franchement tropicales. Les polypiers constructeurs, si exigeants pour la température (n° 77), se montrent dans le Yorkshire au-delà du 54e parallèle. Ce dernier fait est toutefois moins concluant que le précédent, car les polypiers anciens avaient une organisation bien différente, pour la plupart, de celle des polypiers modernes.

Enfin le relief a dû peu varier. C'est ce que tend à prouver, entre autres faits, la grande stabilité de la flore, qui, pendant toute la durée de cette longue période, n'a subi que de très faibles modifications.

716. Faune oolithique. — Les mammifères ne font pour ainsi dire pas de progrès pendant la période oolithique. Ils paraissent encore uniquement représentés, comme dans la période liasique, par des marsupiaux, mais de genres nouveaux, tels que l'*Amphitherium* (fig. 358), le *Phascolothe-*

Fig. 358. — *Amphitherium Prevostii*, des schistes bathoniens de Stonesfield. — *a*, apophyse coronoïde ; *b*, condyle ; *c*, apophyse angulaire ; *d*, molaire à double racine.

rium, le *Plagiaulax*, etc. On n'a d'abord connu de ces animaux que les dents et la mâchoire inférieure ; mais celle-ci présente généralement des particularités qui ne s'appliquent pas aux mammifères ordinaires, notamment dans la forme de l'apophyse angulaire, qui est tournée en dedans, et c'est en invoquant la loi de corrélation de Cuvier qu'on a rapporté ces débris à des marsupiaux. Plus tard, on a découvert quelques autres os du squelette qui ont confirmé cette détermination.

C'est dans le terrain oolithique qu'on trouve pour la pre-

mière fois des restes bien nets des oiseaux, dont on n'avait observé jusqu'à présent que des traces douteuses consistant en pistes qu'on peut tout aussi bien considérer comme des traces de pas de reptiles. Le plus curieux de ces êtres est le célèbre *Archæopteryx* (fig. 359), de la pierre lithographique de Solenhofen (Bavière), oiseau de petite taille conservé grâce à la finesse de grain du sédiment, et dont on a retrouvé le squelette presque entier, avec ses plumes, sauf la tête. Il a encore quelques affinités reptiliennes et se rapproche notam-

Fig. 359. — Membre postérieur et queue d'*Archæopteryx*.

ment des sauriens volants par la structure de la queue et du bassin, mais par l'ensemble de ses caractères il appartient bien à la classe des oiseaux.

Parmi les reptiles, les ichthyosaures, les plésiosaures, les ptérodactyles persistent encore. A ces genres s'en joignent de nouveaux, le *Teleosaurus* et le *Megalosaurus*.

Le téléosaure, de la même famille que le crocodile, avait le museau grêle, les dents minces, aigues et toutes égales, le corps couvert de plaques imbriquées. Il avait conservé les vertèbres biconcaves et sa taille était de 5 mètres.

Le mégalosaure était un énorme lézard dont la longueur allait jusqu'à 15 mètres. Ses dents, par leur mode d'implantation, marquent le passage de la dentition des crocodiles à celle des lézards. Elles sont coniques, comprimées, finement dentelées sur les bords, et indiquent un animal éminemment carnivore.

Les *chéloniens* ou tortues se montrent pour la première fois.

Les poissons sont encore pour la plupart des ganoïdes homocerques. On voit apparaître les premiers poissons complètement osseux ou *téléostéens*.

Mollusques. — Les ammonites et les bélemnites continuent à présenter une grande variété de formes. Les premières ne sont parfois représentées que par un de leurs organes internes, ou *Aptychus* (fig. 360), composé de deux valves un peu concaves constituant le gésier, qui sont unies par un côté et dont la surface extérieure est lisse ou ornée de côtes parallèles.

Fig. 360. — *Aptychus.*

Les gastéropodes, plus nombreux que dans le lias, nous offrent encore les *Trochus* et les *Pleurotomaria,* ainsi que d'autres genres, les *Pterocera* (fig. 393), qui se distinguent par les grandes digitations dont est muni le labre [1], les *Nerinea* (fig. 389), dont la coquille turriculée présente des tours nombreux et dont la coupe longitudinale du moule intérieur se signale par des dessins caractéristiques, plus ou moins compliqués, placés de part et d'autre de l'axe.

De tous les brachiopodes, les térébratules et les rhynchonelles sont les fossiles les plus nombreux et les plus variés.

Parmi les acéphales, les huîtres deviennent de plus en plus abondantes et constituent des bancs épais. Les trigonies, que nous avons déjà signalées dans le lias, donnent d'excellents caractères pour la détermination de l'âge des couches oolithiques.

Un nouveau genre de la famille des *Chamacés*, le *Diceras* (fig. 386), dont la coquille a de grands crochets divergents et souvent contournés en spirale, apparaît vers le milieu de la période.

Zoophytes. — Les oursins, qui jusqu'alors étaient rares, prennent une grande extension. On les rencontre le plus souvent sans leurs piquants, bien conservés, à l'état de moules ou d'empreintes ; les piquants ou baguettes se trouvent pres-

1. Côté extérieur de l'ouverture de la coquille.

que toujours séparés. Ils fournissent de très bons caractères stratigraphiques pour la détermination des assises.

Les crinoïdes sont aussi très nombreux et remplissent certaines couches de leurs débris.

Les polypiers se développent et acquièrent plus d'importance que précédemment. De concert avec les bryozoaires, ils construisent des récifs puissants, dans les cavités desquels s'abritent des oursins, des dicérates, des gastéropodes à test épais.

Quant aux foraminifères, ils paraissent être en décadence.

717. Flore oolithique. — La flore oolithique n'est pas plus riche que la flore liasique ; elle a le même caractère de monotonie. Ce sont toujours des fougères, des cycadées et des conifères. Loin de varier rapidement comme dans la période carbonifère, les types restent à peu près immuables et plusieurs d'entre eux se maintiennent sans la moindre modification pendant tous les temps jurassiques.

Les fougères sont sensiblement inférieures par la taille et le port à celles des âges précédents. Ce sont des plantes de terrains secs, à feuilles maigres, exiguës et coriaces.

Fig. 361.
Pterophyllum Williamsoni.

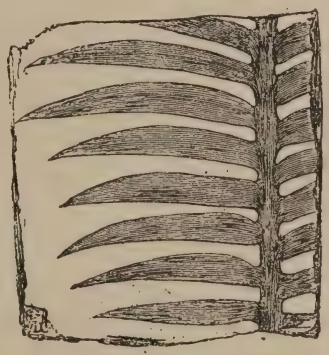


Fig. 362.
Zamites fenconis.

Les cycadées atteignent leur apogée vers la fin de la période. Elles consistent encore en *Pterophyllum* (fig. 361), *Za-*

mites (fig. 362), etc. On en a trouvé d'assez nombreux débris au milieu des couches de Purbeck en Angleterre.

Les conifères, qui ont généralement une grande taille, sont analogues aux *Araucaria*, aux cyprès, aux *Sequoia* actuels. On peut citer le *Brachyphyllum*, l'un des genres les plus caractéristiques, à rameaux raides et à tiges nues.

718. Division en étages. — Ce sont les géologues anglais qui ont fait les premiers l'étude méthodique du système oolithique. Les divisions qu'ils ont établies dans leur pays, en se fondant sur les caractères pétrographiques, tout en reconnaissant que chacune d'elles possède une faune spéciale, ont été longtemps employées exclusivement sur le continent, et l'usage s'en est conservé dans plusieurs traités de géologie, bien que les progrès de la science aient fait reconnaître qu'elles ne se retrouvent pas partout.

Nous reproduisons ci-dessous ces divisions en regard des six étages entre lesquels on s'accorde généralement à répartir les assises oolithiques.

Oolithe supérieure	Étage portlandien.....	Purbeck beds. Portland stone.
	Étage kimmeridgien.....	Kimmeridge-clay.
Oolithe moyenne	Étage corallien.....	Coral-rag.
	Étage oxfordien.....	Oxford-clay. Kelloway rock.
Oolithe inférieure	Étage bathonien.....	Cornbrash. Forest marble. Bradford-clay. Great oolit. Fuller's earth.
	Étage bajocien.....	Inferior oolit.

L'*étage bajocien*, dont d'Orbigny a pris le type en Normandie, près de la ville de Bayeux, *Bajoce* des Romains, est composé de calcaires purs ou argileux. Il a pour fossiles caractéristiques l'*Ammonites Humphresianus* (fig. 363), espèce ventrue à dos rond ; l'*A. Parkinsoni* ou *interruptus*, dont les côtes sont interrompues sur le dos ; le *Belemnites giganteus* (fig. 364), dont le rostre peut atteindre une longueur d'un mètre ; le *Pleurotomaria conoïdea* (fig. 365), de forme conique,

Fig. 363.
Ammonites Humphresianus.

Fig. 365.
Pleurotomaria conoïdea.

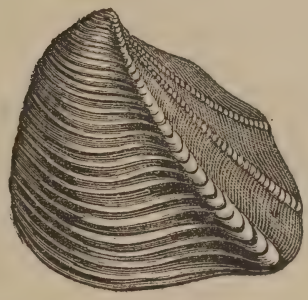


Fig. 366. — *Trigonia costata.*

Fig. 364.
Belemnites giganteus.

Fig. 367.
Lima proboscidea (réduite).

Fig. 368. — *Terebratula globata.*

à base large et plate ; le *Trigonia costata* (fig. 366) ; le *Lima proboscidea* (fig. 367) ; le *Terebratula globata* (fig. 368), de forme sphéroïdale.

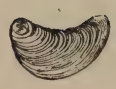


Fig. 369. *Ostrea acuminata.*

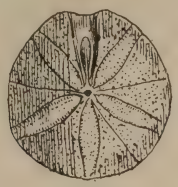


Fig. 370. *Clypeus Ploti.*

Fig. 371. *Terebratula cardium.*

Fig. 372. *Terebratula digona.*

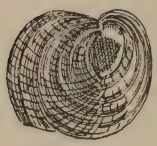


Fig. 373. *Rhynchonella decorata.*

Fig. 374. *Avicula echinata.*

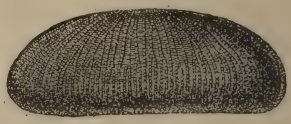


Fig. 376. *Anabacia orbulites.*

L'*étage bathonien,* très développé près de la ville de Bath, dans le Somersetshire, est une formation dans laquelle des couches argileuses ou marneuses (*fuller's earth*, ou terre à foulon, et *Bradford-clay*, ou argile de Bradford) se présentent à la base et au milieu, tandis que le reste est essentiellement calcaire (*great oolit*, ou grande oolithe ; *forest marble*, calcaire exploité comme marbre dans la forêt de Wichwood ; *cornbrash*, dont le nom vient de ce que ce calcaire se désagrège facilement en fragments ou *brash*, et donne un sol propre à la culture du blé ou *corn*).

Voici quels sont ses principaux fossiles : *Ostrea acuminata* (fig. 369), petite huître pointue qui forme des bancs considérables dans le fuller's earth ; *Clypeus Ploti* ou *patella* (fig. 370), en forme de disque, avec ambulacres[1] ressemblant à une

1. Les ambulacres (de *ambulare*, se promener), sont des zones étroites, au nombre de cinq, dirigées suivant des rayons et percées de pores par lesquels l'animal passe les petits tentacules rétractiles qui servent à la locomotion.

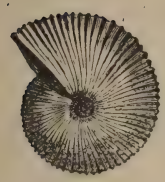


Fig. 376.
Ammonites macrocephalus.

Fig. 377.
Ammonites coronatus.

Fig. 378.
Ammonites Lamberti.

Fig. 379.
Ammonites cordatus.

Fig. 380.
Ostrea Marshii.

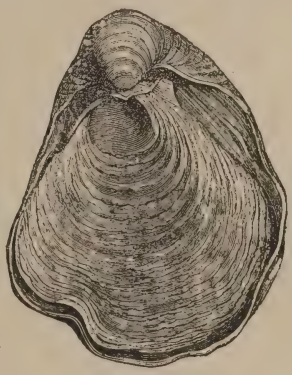


Fig. 381.
Gryphœa dilatata.

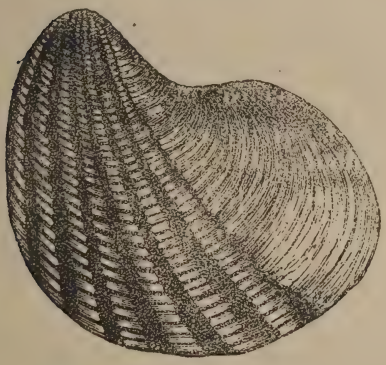


Fig. 382.
Pholadomya exaltata.

Fig. 383.
Trigonia clavellata.

Fig. 384. — *Terebratula janitor.*

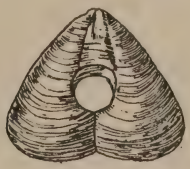


Fig. 385. — *Terebratula diphya.*

lancette ; *Terebratula cardium* (fig. 371) ; *T. digona* (fig. 372) ; *Rhynchonella decorata* (fig. 373) ; *Avicula echinata* (fig. 374) ; *Anabacia orbulites*, polypier libre de forme discoïde.

L'*étage oxfordien* correspond au *Kelloway-rock*, grès calcaire du Wiltshire, et à l'*Oxford-clay*, ou argile d'Oxford, des géologues anglais. Il est riche en fossiles. Les ammonites notamment y sont très nombreuses et varient avec les niveaux : *Ammonites macrocephalus* (fig. 376), à large ouverture ; *A. coronatus* (fig. 377), très épaisse, en forme de couronne ; *A. Lamberti* (fig. 378), *A. cordatus* (fig. 379), toutes deux minces. Citons encore : *Ostrea Marshii* (fig. 380) ; *Gryphæa dilatata* (fig. 381), grande huître voisine de la *G. cymbium*, mais plus large ; *Pholadomya exaltata* (fig. 382) ; *Trigonia clavellata* (fig. 383) ; des térébratules trouées comme *T. janitor* (fig. 384) et *T. diphya* (fig. 385).

L'*étage corallien* est ainsi nommé parce que plusieurs de ses couches sont composées de débris de coraux, ou même de masses énormes de polypiers en place. Toutefois ces bancs de polypiers ne peuvent être considérés comme caractéristiques de l'étage ; ce sont des formations purement locales. Ses principaux fossiles sont : *Diceras arietina* (fig. 386), dont les crochets ressemblent à des cornes de bélier ; *Hemicidaris crenularis* (fig. 387), oursin en forme de couronne avec gros tubercules sur les ambulacres ; *Cidaris florigemma*, oursin dont les baguettes, robustes et granulées, ont la forme de massues (fig. 388) ; *Glypticus hieroglyphicus*, autre espèce d'oursin, plate, avec des sortes de sculptures en hiéroglyphes provenant

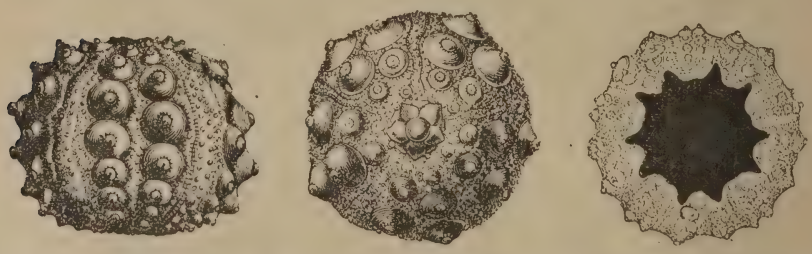


Fig. 387. — *Hemicidaris crenularis* vu de côté, par dessus et par dessous.

Fig. 388. — Baguette de *Cidaris florigemma.*

Fig. 386. — Moule intérieur et valve de *Diceras arietina.*

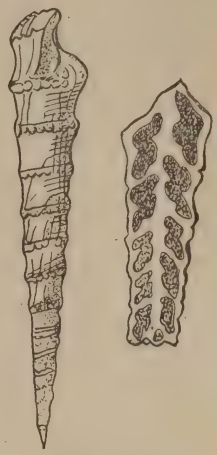


Fig. 389. *Nerinea tuberculosa.*

Fig. 390. *Exogyra virgula.*

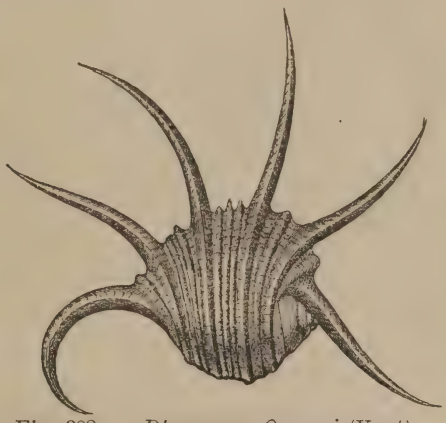


Fig. 393. — *Pterocera Oceani* (Vogt).

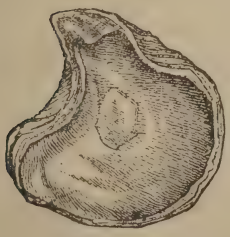


Fig. 391. *Ostrea deltoïdea.*

Fig. 394. *Bulla suprajurensis.*

Fig. 392. — *Astarte minima.*

de ce que les têtes de tubercules se sont réduites en éminences isolées et de ce que de petites granulations les réunissent; *Nerinea* de diverses espèces (fig. 389).

L'*étage kimmeridgien*, dont le nom est tiré de la ville de Kimmeridge en Angleterre, est un étage argileux ou marneux dans son ensemble et où les calcaires purs sont rares. Ses fossiles caractéristiques sont : *Exogyra* (appelé aussi, mais improprement, *Ostrea* ou *Gryphæa*) *virgula* (fig. 390), petite coquille dont la forme se rapproche de celle d'une virgule; *Ostrea deltoïdea* (fig. 391), qui a la forme grossière d'un Δ grec; *Astarte minima* (fig. 392), coquille bivalve de très petites dimensions; *Pterocera Oceani* (fig. 393); *Bulla suprajurensis* (fig. 394), petit gastéropode de forme ovale.

Fig. 395. — *Ammonites gigas.*

Fig. 396. — *Trigonia gibbosa* (Lyell).

Fig. 397. — *Trigonia Pellati.*

L'*étage portlandien* tire son nom de la presqu'île de Port-

land, dans le sud de l'Angleterre, où le premier type a été décrit. Il se compose de couches généralement calcaires et a pour fossiles principaux : *Ammonites gigas* (fig. 395), ammonite de très grandes dimensions ; *Trigonia gibbosa* (fig. 396) ; *T. Pellati* (fig. 397).

§ II.

SYSTÈME OOLITHIQUE DANS L'EST DE LA FRANCE.

719. Disposition générale des couches. — Le terrain oolithique se présente dans la partie orientale du grand bassin anglo-parisien avec une remarquable constance. La série y est à peu près complète et les différents étages entre lesquels on le divise, faisant suite à ceux du trias et du lias et plongeant avec une légère inclinaison vers le centre du bassin, dessinent à la surface du sol des bandes curvilignes dont la concavité est tournée du côté de Paris.

C'est dans cette région que les affleurements jurassiques atteignent les plus grandes largeurs, et l'on peut y établir sans peine l'assimilation avec les assises classiques de l'Angleterre. Au sud-est et au sud, ce terrain se prolonge dans le Berry et le Poitou, mais avec moins de continuité ; il se retrouve le long du massif paléozoïque de l'Armorique, puis il disparaît au nord sous le terrain crétacé et sous la Manche pour se raccorder à celui de l'Angleterre. Il est quelquefois cependant ramené à la surface par des bombements, comme dans le pays de Bray et le Boulonnais.

Par suite de l'inégale résistance des roches aux agents atmosphériques, ces zones d'affleurements sont nettement accusées dans l'est de la France par la configuration du sol. On voit en effet les collines former comme une série de bourrelets concentriques, à niveaux décroissants de la circonférence au centre, dont les versants les plus abrupts regardent gé-

nérâlement l'est, tandis que les pentes douces sont dirigées suivant l'inclinaison générale des couches, c'est-à-dire vers l'ouest. Les saillies sont constituées par les roches les plus dures ; les roches tendres se trouvent surtout dans les dépressions.

Ces crêtes représentent autant de lignes naturelles de défense pour notre territoire. Les rivières telles que l'Yonne, la Seine, l'Aube, la Marne, l'Aisne, l'Oise et leurs affluents, qui convergent vers le centre du bassin, les traversent par des fractures préexistantes qu'elles ont façonnées. La Meuse échappe seule à ce régime en suivant les contours de la ceinture jurassique et finit par sortir du bassin de Paris en se jetant dans une fissure du massif ardennais.

La composition géologique du sol ne se reflète pas seulement dans les accidents orographiques, mais encore dans la végétation. « La carte géologique n'existerait pas, dit M. Mathieu, ancien professeur à l'École forestière de Nancy, que pour les terrains jurassiques et surtout pour ceux du bassin de Paris, la carte forestière permettrait de la construire, tant est étroite, et l'on peut ajouter logique, la relation entre les collines calcaires et les forêts. Rien n'est mieux accusé que ces zones forestières que l'œil discerne aisément de Mézières à Poitiers, en suivant toutes les inflexions de la ceinture jurassique qui sépare le centre du bassin de Paris du trias de la Lorraine et qui au sud vient le plus souvent s'appuyer sur les premiers contreforts du Plateau Central.

« On peut remarquer que cette union entre les sols jurassiques et les forêts se poursuit en dehors du bassin de Paris. Une bande des premiers se détache du plateau de Langres, et, se dirigeant vers le sud, longe le pied oriental du Morvan et du Charolais, pour se terminer aux environs de Mâcon. La carte forestière reproduit fidèlement cette disposition géologique ; une région bien boisée coïncide exactement avec elle. »

Nous allons maintenant étudier la succession des assises oolithiques dans l'est de la France, en examinant les variations qu'elles subissent du Morvan à l'Ardenne.

720. Étage bajocien. — Dans la Bourgogne, le système

oolithique débute par une assise d'une trentaine de mètres de puissance, essentiellement formée par le *calcaire à entroques*, et qui représente l'étage bajocien. C'est un calcaire grisâtre qui, dans sa moitié inférieure, est sublamellaire, pétri de débris d'encrines et qui, à sa partie supérieure, consiste en bancs moins homogènes. Son fossile principal est l'*Ammonites Parkinsoni.*

Ce calcaire dur, immédiatement superposé aux marnes supérieures du lias, joue un rôle remarquable dans l'orographie de la région. Il se dresse en nombreux escarpements, d'aspect souvent ruiniforme, qui ressemblent à des fortifications naturelles. C'est ainsi qu'il se présente au sommet du Mont-Auxois, qui semble un contre-fort avancé des montagnes granitiques du Morvan et où l'on a retrouvé les traces de l'ancienne ville gauloise d'Alesia et des travaux qu'avait exécutés Vercingétorix pour la protection de son camp retranché. Cette position, décrite avec une grande netteté dans les *Commentaires de César*, se prête parfaitement à la défense tant par sa forme que par sa constitution géologique, car elle est entourée de trois côtés par des vallées profondes et elle est séparée des plateaux qui atteignent sa hauteur par un col fortement déprimé.

Le plateau de Langres, qui offre des conditions analogues, est également une forte position stratégique. Toutefois l'étage bajocien est ici plus puissant et sa composition n'est plus tout à fait la même; il comprend à sa base un calcaire ferrugineux en plaquettes, à *Pecten pumilus*, auquel est superposé un massif de calcaires oolithiques avec intercalation de bancs de calcaire à polypiers ou à entroques, le tout d'une épaisseur de 100 mètres environ. Les pentes adoucies qui se trouvent au-dessous sont formées par les marnes liasiques.

Les parties dures et résistantes du calcaire à entroques donnent des matériaux de construction estimés. Les bancs supérieurs, qui se débitent souvent en plaques minces, sont utilisés sous le nom de *laves* pour la couverture des maisons.

En suivant au nord les affleurements du bajocien, on voit le calcaire à polypiers prendre un plus grand développement, surtout dans la partie supérieure, caractérisée par l'*Ammonites Humphresianus*, tandis que la base renferme encore

une grande quantité de lamelles spathiques provenant de débris d'encrines. Ce sont ces calcaires à encrines et à polypiers qui forment le sommet de la côte de Vaudémont (Meurthe-et-Moselle) dont l'altitude est de 545 mètres et qui, en dehors des Vosges, est le point le plus saillant de la Lorraine.

Dans le département de la Meuse, le bajocien se modifie encore. A sa partie inférieure, il consiste en un calcaire terreux, jaunâtre ou blanchâtre, qui contient parfois une immense quantité de polypiers, notamment à Montmédy. Ce calcaire est recouvert par des calcaires oolithiques, puis par des calcaires à lamelles spathiques et à grain fin avec *Avicula ornata* et *Pentacrinus Buvigneri*.

Enfin, dans les Ardennes, au-dessus des calcaires marneux à *Ammonites Murchisonæ, Trigonia costata, Belemnites giganteus*, qui constituent la base du bajocien, apparaît une assise de 20 à 40 mètres de calcaire jaunâtre, tendre, quelquefois oolithique, à *Terebratula perovalis*, que l'on exploite dans de nombreuses carrières, entre autres à Dom-le-Ménil, et avec lequel sont bâties les villes de Mézières, Charleville et Sedan.

721. Étage bathonien. — C'est en Bourgogne que les affleurements de l'étage bathonien se présentent avec la plus grande largeur. Ils occupent tout le détroit qui sépare le Morvan du massif des Vosges et constituent une région accidentée traversée par la ligne de partage des eaux de la Seine et de la Saône. La composition du sol y est mise à découvert non seulement par les mouvements de sa surface, mais encore par les tranchées de routes ou de chemins de fer et par de nombreuses carrières qui permettent d'étudier avec fruit la succession des couches.

Voici quelles sont les divisions principales que l'on peut introduire dans le bathonien de cette région :

3. Calcaires et marnes à *Terebratula digona*.
2. Calcaire blanc à échinodermes.
1. Calcaire marneux et marnes à *Ostrea acuminata*.

L'assise inférieure correspond exactement au *fuller's earth*

ou *terre à foulon* des géologues anglais, et la suivante au *great oolit* ou *grande oolithe*. C'est à cette dernière assise qu'appartient la belle pierre de Comblanchien (Côte-d'Or), calcaire compact, très dur, susceptible de poli, que l'on exploite sur une épaisseur de 8 à 12 mètres et qui a été employé à Paris pour la construction du grand escalier de la Banque de France et du perron principal du Palais de Justice.

La partie supérieure du bathonien donne aussi de bonnes pierres de construction.

La grande oolithe est généralement très fissurée et les eaux qui s'insinuent dans ses crevasses forment un niveau aquifère sur les couches imperméables des marnes à *Ostrea acuminata*. Les sources de la Seine, qui se trouvent dans la commune de Saint-Germain-la-Feuillée, proviennent de ce niveau. Près de Châtillon-sur-Seine, où les calcaires forment des escarpements d'une cinquantaine de mètres, on voit surgir à leur base, sur la même marne, une source considérable, appelée la *fontaine des Abîmes*, qui donne issue aux cours d'eau souterrains qui parcourent leurs fissures.

Par suite de la présence de minces lits de marne intercalés souvent dans la masse calcaire, le bathonien donne en se désagrégeant des terres légères, perméables, qui conviennent parfaitement à la vigne. C'est sur les coteaux bathoniens qui s'étendent de Dijon à Nuits et à Beaune que sont situés les vignobles les plus renommés de la Côte-d'Or, la Romanée-Conti, le Clos-Vougeot, le Chambertin, Pomard, Volnay, etc. Dans les terres d'alluvion qui s'étalent au pied de ces collines, sur les bords de la Saône, on obtient des vins de moins bonne qualité.

Les marnes et calcaires marneux à *Ostrea acuminata* se poursuivent sans grandes variations dans tout l'est de la France, jusque dans les Ardennes, et constituent ainsi un excellent repère. Mais il n'en est pas de même des assises qui leur sont superposées et dont les modifications sont assez notables.

Dans la Haute-Marne, la grande oolithe consiste en calcaires blancs, durs, compacts, ne contenant guère d'autres fossiles que la *Rhynchonella decorata*, qui, à la base, passent à des calcaires oolithiques, poreux et gélifs. Ces calcaires,

dont l'épaisseur varie de 60 à 80 mètres dans les environs de Langres et de Chaumont, sont très fissurés et présentent à la séparation des bancs de petites cannelures rectilignes appelées *stylotithes*.

A partir de Neufchâteau (Vosges), le calcaire compact de la grande oolithe devient de plus en plus oolithique, avec quelques intercalations de lits un peu saccharoïdes. La partie supérieure du bathonien est formée par des bancs généralement minces de calcaires roussâtres, à oolithes fines, avec lamelles spathiques d'encrines, qui, vers le haut, passent à la *dalle oolithique*, ainsi nommée parce qu'elle se débite en plaquettes.

Au-delà de Toul, le bathonien, qui jusque-là se signalait par la prédominance des bancs calcaires, change d'aspect. Le calcaire de la grande oolithe disparaît pour être remplacé par des marnes, mélangées de calcaires terreux, auxquelles on donne le nom de *marnes du Jarnisy* et qu'on peut suivre jusqu'à la limite commune aux départements de la Meuse et des Ardennes. Les forêts de chênes, de hêtres et de charmes, qui recouvrent presque sans discontinuité les plateaux arides et pierreux du bathonien calcaire, notamment dans la région dite de *la Haye* entre Toul et Nancy, deviennent clairsemées et laissent plus de place à l'agriculture.

La grande oolithe reprend dans les Ardennes son faciès compact avec la *Rhynchonella decorata*, qui caractérise ses bancs supérieurs. Au-dessus viennent des calcaires marneux très fossilifères (*Rhynchonella elegantula*, *Terebratula digona*, *Ostrea costata*, *Avicula echinata*, etc.), bien visibles dans la tranchée de Poix, puis un calcaire en plaquettes à grandes huîtres qui termine l'étage.

L'assise argileuse à *Ostrea acuminata* forme encore dans les Ardennes, comme partout ailleurs, un niveau de sources bien marqué. Elle est surmontée par des calcaires jaunes avec oolithes et parties spathiques, qui sont exploités pour pierres de taille à Connage, Haraucourt, etc. Le calcaire blanc de la grande oolithe fournit une belle pierre, tendre, un peu crayeuse, facile à travailler, que l'on extrait dans de grandes carrières souterraines ou à ciel ouvert à Chémery et à Boulzicourt.

722. Étage oxfordien. — En descendant les vallées qui traversent l'enceinte formée par l'oolithe inférieure, on ne tarde pas à rencontrer l'étage oxfordien, presque entièrement argileux ou marneux et n'offrant guère de bancs durs qu'à sa base et à son sommet.

En Lorraine, où cet étage se présente avec tout son développement, on peut le diviser en trois parties :

3. Calcaires à *chailles*.
2. Argiles à *Ammonites Lamberti*.
1. Calcaires marneux à *Ammonites macrocephalus*.

Le sous-étage inférieur, dont l'épaisseur ne dépasse guère une douzaine de mètres, consiste en un calcaire gris bleuâtre reposant sur la dalle oolithique bathonienne, qui supporte des marnes et calcaires à oolithes ferrugineuses, exploités autrefois à Liffol-le-Grand comme minerai de fer. Ce minerai se retrouve, avec des caractères un peu différents, dans le nord du département de la Meuse et dans le département des Ardennes, où il a alimenté pendant longtemps plusieurs hauts-fourneaux à Billy-sous-Mangiennes, Stenay, Haraucourt, etc. ; les exploitations les plus importantes se trouvaient à Poix.

Les argiles du sous-étage moyen ont une épaisseur variant de 100 à 200 mètres. Elles occupent dans le département de la Meuse une zone dont la largeur atteint 45 kilomètres et constituent la région dite de *la Woëvre*, faiblement ondulée, à sol imperméable, couverte de nombreux étangs et de vastes forêts, éminemment propre aux prairies naturelles ; quand, au lieu d'affleurer immédiatement à la surface, elles sont recouvertes ou au moins mélangées de graviers ou autres dépôts de transport qui les divisent, elles deviennent un peu perméables et on a alors des terres d'une grande fertilité.

Ces argiles sont généralement grasses, liantes, bleuâtres, quelquefois pyriteuses et gypsifères ; on les exploite pour la fabrication des tuiles et des poteries communes. Les fossiles abondent en certains points, surtout à la base ; on y trouve notamment *Serpula vertebralis*, *Trigonia clavellata*, *Belemnites hastatus*, *Ammonites Lamberti*.

Le sous-étage supérieur est formé d'assises de calcaire siliceux ou marneux, contenant des concrétions siliceuses ou *chailles,* alternant avec des marnes sableuses ou argileuses. Son fossile caractéristique est l'*Ammonites cordatus*, à l'état généralement siliceux ; on y recueille aussi le *Pholadomya exaltata.*

Dans les Ardennes, le calcaire à chailles est remplacé par un grès tendre à silice gélatineuse ou *gaize* (n° 468), qui donne une falaise assez abrupte, dite *chaîne des crêtes*, couverte de forêts et dont la puissance est d'une cinquantaine de mètres. Au-dessus vient une couche mince de marnes et de calcaires rognonneux avec oolithes ferrugineuses, que l'on a exploités comme minerai de fer à Nouart, Neuvizy et Vieil-Saint-Remy. Dans ces deux dernières localités, le calcaire à oolithes ferrugineuses est transformé en une argile contenant de nombreux grains d'oxyde de fer hydraté, ainsi que d'abondants coquillages silicifiés qui en font un riche gisement fossilifère.

723. Étage corallien. — Le département de la Meuse est la région où l'on peut le mieux étudier l'étage corallien, car c'est là qu'il atteint sa plus grande puissance connue, qui, vers le centre, n'est pas de moins de 150 mètres. Sur toute l'étendue du département, il couronne une chaîne de collines, qui domine la grande plaine de la Woëvre, et ses assises inférieures forment, avec les assises dures de l'oxfordien supérieur, un seul escarpement.

Les assises qui composent cet étage sont entièrement calcaires et présentent une grande variété de texture et de couleur. Elles sont généralement blanches, quelquefois grises ou jaunâtres. On y rencontre des calcaires crayeux, des calcaires terreux plus ou moins compacts, des calcaires oolithiques, des calcaires grenus à grains de grosseur variable, qui passent insensiblement les uns aux autres. Certaines assises sont presque exclusivement formées d'entroques ou articulations d'encrines, qui se trouvent à l'état spathique ; d'autres consistent en grande partie en coquilles ou autres corps organiques, triturés et réduits en fragments quelquefois très fins.

Ainsi que le fait remarquer Buvignier, il est à peu près impossible d'établir des subdivisions géologiques dans cet ensemble de couches, car les différentes sortes de calcaire n'existent pas constamment au même niveau. On éprouve la même difficulté si l'on veut se baser sur la nature des fossiles, ceux-ci étant répartis plutôt en raison de la nature des roches qu'en raison du niveau géologique.

On peut cependant diviser le corallien de la Meuse en deux sous-étages, le *glypticien* et le *dicératien*, du nom de leurs fossiles caractéristiques.

Glypticien. — Le premier sous-étage débute en général par un calcaire à polypiers, dont les intervalles sont remplis par une sorte de boue crayeuse ou par des oolithes. Les espèces de polypiers y sont nombreuses et variées ; mais elles sont réparties très inégalement. Ce calcaire, que l'on exploite dans l'arrondissement de Verdun, donne une pierre de très bonne qualité, mais presque toujours d'un grain assez grossier et avec des parties dures, désignées sous le nom de *cailloux* par les ouvriers, et qui sont souvent des polypiers à l'état cristallin ou même à l'état siliceux. Les fossiles que l'on y rencontre sont *Glypticus hieroglyphicus*, *Hemicidaris crenularis* et des baguettes de *Cidaris florigemma*.

Dans les environs de Saint-Mihiel, le calcaire à polypiers prend un développement considérable. Sa partie supérieure, en formant quelques saillies sur les flancs d'un coteau qu'il constitue près de cette ville, a produit les roches célèbres connues sous le nom de *falaises de Saint-Mihiel* et qui représentent de véritables récifs presque isolés de toutes parts au milieu d'un massif de calcaire blanc crayeux.

Quand on se dirige de Saint-Mihiel vers Commercy, on voit le calcaire à polypiers se transformer graduellement en un calcaire presque crayeux, à grain fin, par la disparition graduelle des polypiers ; puis celui-ci est bientôt remplacé à son tour par un calcaire à entroques, contenant encore des baguettes de *Cidaris florigemma*.

Près de Creux et d'Hattonchâtel, le calcaire blanc crayeux se développe avec une puissance de plus de 80 mètres et contient, à l'état de moules ou d'empreintes, de nombreux fos-

siles qui ne se rencontrent pas dans les localités où existe le coral-rag à polypiers et qui appartiennent presque tous à des espèces vivant habituellement dans la vase. On doit en conclure avec Buvignier qu'il représente le faciès vaseux du glypticien. Du reste, il devient parfois marneux à la base.

Calcaire à entroques.— Le calcaire à entroques donne lieu à une exploitation des plus importantes sur les territoires des communes d'Euville et de Lérouville. A Euville, la masse exploitable a une puissance de 16 à 25 mètres ; elle se divise en bancs de $0^m,40$ à 5 mètres dont les délits horizontaux sont peu marqués et traversés par des fissures verticales, généralement distantes de 10 à 20 mètres, sans orientation déterminée. Elle repose sur une roche calcaire demi-dure, fissurée, qui forme le fond des carrières et elle est recouverte par des couches de terrains rocailleux ou sableux qui peuvent atteindre, dans certaines parties, 12 à 15 mètres d'épaisseur, ce qui rend l'extraction difficile et coûteuse.

Cette pierre, qui jouit d'une réputation méritée et qui s'exporte au loin, est presque entièrement formée de débris de cils ou de bras d'encrines en lamelles spathiques, réunies par un ciment cristallin ; elle est dure, miroitante et non gélive. On peut la débiter en blocs de grandes dimensions et en faire des auges ou vasques de fontaines ; on l'emploie surtout en premières assises de socle et dans les travaux hydrauliques. Quand elle est d'un grain fin, on s'en sert même pour la marbrerie. Nous ne reviendrons pas sur ses propriétés mécaniques, que nous avons fait connaître dans le premier volume de cet ouvrage (n° 479).

A Lérouville, la masse exploitable peut atteindre 35 à 40 mètres de puissance, et les bancs varient de 1 à 4 mètres ; mais la pierre, tout en étant aussi dure qu'à Euville, a un grain plus grossier, moins égal, et elle est quelquefois celluleuse.

L'exploitation de cette pierre se fait à ciel ouvert par gradins successifs, en utilisant les joints horizontaux de stratification et les fissures verticales, ou *routes*, qui la divisent en prismes de 10 à 20 mètres de côté. Comme les tranches verticales destinées à débiter la roche en blocs de moindres di-

mensions sont très difficiles à exécuter à bras d'homme, on se sert d'outils mis en mouvement par des machines à vapeur.

Dicératien.— Le sous-étage supérieur, ou dicératien, comprend souvent à la base un calcaire blanc à oolithes fines, quelquefois cependant assez grossières, avec *Diceras arietina* et diverses espèces de *Nerinea,* parmi lesquelles la plus fréquente est la *N. elongata.* Près de Vadonville, on y trouve de nombreux galets calcaires qui en font un véritable poudingue.

Au-dessus viennent des calcaires à grain fin, ressemblant assez au calcaire lithographique, mais parfois fortement cariés.

Dans le département des Ardennes, le corallien n'a plus que 70 à 80 mètres d'épaisseur. On y retrouve encore la division en deux sous-étages, mais le calcaire à entroques fait défaut et cet étage ne fournit que des matériaux de très médiocre qualité, bons tout au plus pour l'empierrement des routes quand ils sont suffisamment durs.

Au sud du départementde la Meuse, le corallien diminue également d'importance et prend un faciès de plus en plus marneux, ce qui le rend parfois difficile à distinguer de l'oxfordien.

724. Étage kimmeridgien. — Le kimmeridgien de la Lorraine et des Ardennes comporte deux grandes divisions :

2. Argiles et calcaires marneux à *Exogyra virgula.*
1. Calcaire à *Astarte minima.*

Le premier sous-étage commence dans les Ardennes par une marne noire avec *Ostrea deltoïdea* et *Astarte minima,* au-dessus de laquelle se trouve un calcaire à fines oolithes, exploité à Buzancy, Authe, etc., et qui donne d'assez bonnes pierres de taille. Puis viennent des marnes noires ou grisâtres dans lesquelles sont intercalés des bancs de pierre bleue dure servant à l'empierrement des routes, connues sous le nom de *marnes de Verpel*, des calcaires marneux contenant souvent des polypiers et des marnes à *Astarte minima.*

Le sous-étage supérieur, très peu développé, consiste en argiles grisâtres qui alternent avec des lits de calcaires marneux ; il est caractérisé par l'*Exogyra virgula*. Cette coquille est tellement abondante que les couches en sont pétries ; elle forme même des lumachelles très dures auxquelles on donne dans le pays le nom de *pierre à oreillettes*.

Comme toutes les formations essentiellement marneuses, le kimmeridgien ne fournit généralement dans les Ardennes que des eaux de médiocre qualité pour l'alimentation, qui se distinguent par leur forte teneur en nitrate de chaux. Ce sel provient sans doute de l'oxydation des matières organiques azotées mêlées à la marne et de la réaction de l'acide azotique qui en résulte sur le carbonate de chaux. Ainsi la source d'Arietal à Exermont renferme par litre 49 centigrammes de sels terreux, dont 17 centigrammes de nitrate de chaux. Par contre, ces eaux conviennent aux irrigations.

En Lorraine, le sous-étage supérieur du kimmeridgien prend une bien plus grande importance que dans les Ardennes. Vers le sommet, il comprend des bancs de calcaire argileux, dont plusieurs sont éminemment propres à la fabrication de la chaux hydraulique et qu'on exploite pour cet usage dans les environs de Bar-le-Duc.

Il se produit souvent dans les argiles kimmeridgiennes des mouvements semblables à ceux que nous avons signalés en décrivant les phénomènes géologiques actuels (n° 61). Ces assises, retenant à leur surface les eaux qui s'infiltrent à travers les couches calcaires superposées, se trouvent en partie détrempées et ramollies ; elles cèdent, refluent vers les affleurements par lesquels elles s'échappent et forment des éboulis au pied des versants, tandis que les calcaires se disloquent et s'inclinent dans le même sens que ceux-ci. Tantôt il n'en résulte que de simples changements de pente, tantôt ce sont de véritables éboulements, comme celui qui s'est manifesté près du village de Belrain (Meuse), dominé par une colline de calcaire portlandien reposant sur l'argile. Au pied du coteau qui se trouve au nord de Bar-le-Duc, les argiles ont formé en refluant un dépôt incliné assez épais, recouvrant des terrains remaniés dans lesquels on a trouvé des débris de poteries ro-

maines et des monnaies d'Arcadius. C'est ce dépôt qui a occasionné des éboulements si considérables dans les travaux du canal de la Marne au Rhin.

La tendance générale des couches argileuses à plonger vers le fond des vallées, sous le poids des calcaires qu'elles supportent, joue un rôle important dans le mode de distribution des eaux. La nappe aquifère qu'elles déterminent, au lieu d'affleurer dans le fond des vallons transversaux suivant une ligne très courte, se prolonge en effet sur une assez grande distance au pied des deux versants et il en résulte que les sources sont plus nombreuses et réparties sur une surface plus étendue.

725. Étage portlandien. — Dans les départements de la Meuse et de la Haute-Marne se développe, au-dessus des calcaires marneux à gryphées virgules, un ensemble de calcaires compacts, souvent cariés, connus sous le nom de *calcaires du Barrois*, sur lesquels est bâtie la ville de Bar-le-Duc. Les fossiles principaux sont *Ammonites gigas* et *Trigonia Pellati*. Ces calcaires alternent avec des couches de lumachelle à *Exogyra virgula*, en sorte qu'il conviendrait peut-être de les rattacher à l'étage kimmeridgien plutôt qu'au portlandien.

A Morley se trouve un banc de calcaire compact grisâtre, dur, fin et homogène, de $0^{m}40$ à $0^{m}90$ d'épaisseur, qu'on exploite sous le nom de *liais de Lorraine*. On peut le débiter en morceaux de très grandes dimensions et on s'en sert surtout en élévation ou pour les travaux d'intérieur. On l'exporte en Belgique, en Hollande et en Allemagne.

Le portlandien proprement dit se compose de calcaires généralement gris verdâtre, compacts ou terreux, auxquels sont subordonnés quelques bancs de nature ou de texture différente qui paraissent former dans la masse des dépôts lenticulaires. Les fossiles ne s'y trouvent guère qu'à l'état d'empreintes ou parfois transformés en calcaire spathique fortement adhérent à la roche, en sorte qu'il n'est pas toujours aisé de les déterminer. Les principales espèces sont : *Cyrena rugosa*, *Corbula inflexa*, *Cyprina fossulata*, *Trigonia gibbosa*, *Pholadomya parvula*.

Parmi les roches subordonnées à cet étage, l'une des plus intéressantes est l'*oolithe vacuolaire*[1], intercalée dans la partie supérieure des calcaires gris verdâtre. Cette pierre, dont l'épaisseur varie de 2 à 7 mètres suivant les localités et qui se divise en trois ou quatre bancs, est un calcaire oolithique, mélangé de petits fragments de coquilles en plus ou moins grande abondance, laissant des vides entre eux. Les oolithes sont assez fines, rondes ou allongées, formées de couches concentriques et souvent creuses. Le ciment qui réunit ces oolithes et les fragments de coquilles est habituellement cristallin et d'un blanc grisâtre. Quelquefois la pierre elle-même devient en grande partie cristalline ; elle est alors assez dure, à tissu plein et serré, et d'une couleur foncée, jaune brun ou brun roux.

L'oolithe vacuolaire est activement exploitée à Savonnières-en-Perthois (Meuse). Dans cette localité elle est tendre, homogène, d'un ton gris jaunâtre, non gélive, comparable comme grain au banc royal de l'Oise. Elle pèse de 1.700 à 1.750 kilogramme le mètre cube et sa résistance à l'écrasement est de 80 à 100 kilogrammes par centimètre carré. Cette pierre est tantôt à grain fin, tantôt à grain plus grossier et coquillière. La première variété s'emploie surtout pour les travaux d'ornementation d'intérieur, comme à l'église de la Trinité à Paris, car à l'extérieur elle résiste mal aux intempéries ; la seconde est la pierre ordinaire de construction et on en fait un grand usage à Châlons-sur-Marne, Vitry-le-François, Nancy. La Belgique en fait une consommation importante, notamment à Anvers et à Louvain.

Toutes les carrières de Savonnières sont souterraines. Les couches, dont l'épaisseur est de 3 mètres à $3^{m}50$, sont exploitées par galeries perpendiculaires de $4^{m}50$ de largeur et piliers de 2 mètres de côté ; on prend ainsi les neuf dixièmes de la masse. Les coupages se font à l'aiguille ou à la tranche.

On exploite encore cette pierre à Brauvilliers, Juvigny-en-Perthois, Brillon (Meuse), Chevillon (Haute-Marne), etc., où elle présente quelques différences de texture et de coloration.

Les calcaires portlandiens, en raison de leur dureté, affectent des formes anguleuses. Les vallées qui y sont creusées

1. De *vacuus*, vide.

sont généralement étroites ; lorsqu'elles ont pénétré jusqu'aux assises argileuses du kimmeridgien, leurs flancs escarpés s'adoucissent vers le bas.

Ces calcaires sont d'ailleurs traversés par des fissures nombreuses, quelquefois de petites dimensions, mais ayant d'autres fois plusieurs mètres de largeur et une longueur considérable. Elles forment tantôt de larges fentes ouvertes à la surface du sol et remplies par des dépôts postérieurs, tantôt des grottes ou des cavernes qui peuvent s'enfoncer jusqu'à de grandes profondeurs et qui amènent parfois des effondrements.

Le crevassement des calcaires portlandiens influe sur le mode de distribution des eaux. Celles-ci, s'insinuant dans toutes les fentes de la masse, descendent en effet très profondément et elles ne reparaissent au jour que dans le fond de quelques vallées peu élevées au-dessus du niveau de l'argile à gryphées virgules. Aussi la vaste surface occupée par ces calcaires se trouverait presque entièrement dépourvue de sources si certaines cavités intérieures n'étaient recouvertes sur leur fond par des matières terreuses, entraînées par les eaux d'infiltration et constituant une couche peu perméable. Il peut ainsi se former de véritables cours d'eau souterrains qui se perdent souvent dans d'autres cavités inférieures, mais qui parfois viennent déboucher au jour en des points où rien ne ferait prévoir l'existence d'une source.

§ III.

SYSTÈME OOLITHIQUE EN NORMANDIE.

726. — Après avoir parcouru les affleurements oolithiques de l'est de la France, nous allons passer au rivage opposé du bassin de Paris, où le même terrain dessine une bande moins large, qui s'étend de la mer jusqu'à La Flèche.

Le système oolithique forme dans cette région, et notam-

ment en Normandie, une vaste plaine dont l'uniformité n'est interrompue que par quelques éminences et quelques vallées et qui contraste complètement avec les terrains schisteux du Cotentin, dont le sol montueux est sillonné d'une foule de petits ruisseaux.

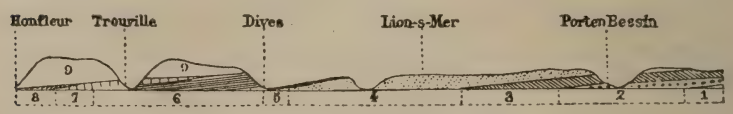


Fig. 398. — Coupe des falaises du Calvados. — 1, toarcien ; 2, bajocien ; 3, bathonien inférieur ou fuller's earth ; 4, bathonien supérieur ou grande oolithe ; 5, oxfordien inférieur ou Kelloway-rock ; 6, oxfordien supérieur ; 7, corallien ; 8, kimmeridgien ; 9, crétacé.

La direction générale des couches étant N.-S. avec plongement à l'est, on recoupe toute la série, des plus anciennes aux plus récentes, en suivant les bords de la Manche, de Port-en-Bessin à Honfleur, comme le montre la figure 398.

727. Étage bajocien. — L'étage bajocien débute dans les environs de Bayeux (Calvados) par un calcaire blanchâtre à silex, ou *mâlière*, de quelques mètres seulement d'épaisseur, directement superposé aux marnes toarciennes.

A la partie supérieure de la mâlière se trouve un banc tuberculeux phosphaté à peu près compact, dont l'aspect rappelle celui du tun de la craie de Lille et dont l'épaisseur varie de 0^m15 à 0^m25. Immédiatement au-dessus vient une couche de nodules enveloppés d'une matière ferrugineuse en zones concentriques, de la grosseur d'une noisette à celle du poing ; sa puissance est de 0^m10 à 0^m15. C'est dans les environs de Bayeux que le dépôt prend sa plus grande importance. Le banc supérieur est le moins constant et il fait même quelquefois défaut ; l'autre se poursuit au contraire sans interruption sur plus de 40 kilomètres.

Les nodules du Calvados sont formés essentiellement d'un mélange de phosphate de chaux et de carbonate de chaux. Ils ne sont généralement pas très riches, car leur teneur en phosphate tricalcique s'élève rarement au-dessus de 35 pour 100, et elle est souvent plus faible.

Sur ces bancs repose l'*oolithe ferrugineuse*, calcaire jaune ou jaunâtre à nombreuses oolithes ferrugineuses, de 1 à 2 mètres d'épaisseur, dans lequel on peut faire une abondante moisson de fossiles : *Belemnites giganteus*, *Ammonites Humphresianus*, *A. Parkinsoni*, *Pleurotomaria mutabilis*, *Terebratula sphæroïdalis*, etc.

Le bajocien se termine par l'oolithe blanche de Port-en-Bessin, dont l'épaisseur est de 9 à 15 mètres. C'est un calcaire généralement solide et compact, ainsi qu'en témoigne sa ré-

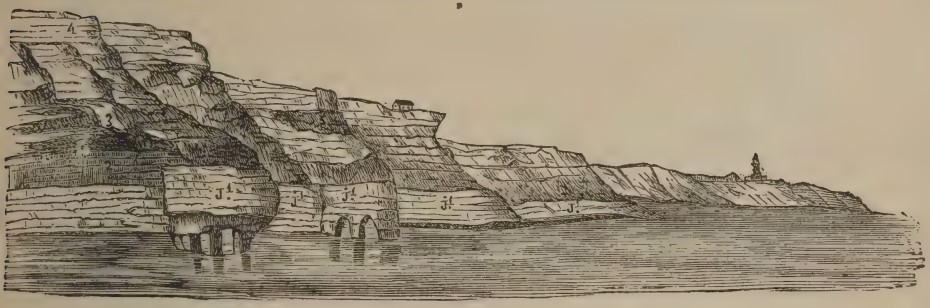


Fig. 399. — Vue des falaises de Port-en-Bessin à Vierville. — j^1, oolithe de Port-en-Bessin; 2, calcaire argileux; 3, argile; 4, calcaire.

sistance à l'action de la mer, qui le sape et le divise en piliers (fig. 399). Quelquefois cependant, il est marneux et assez tendre.

728. Étage bathonien. — L'étage bathonien peut se diviser en deux assises, le *fuller's earth* et la *grande oolithe*. Dans la falaise de Port-en-Bessin, le *fuller's earth* est représenté par une masse argileuse de 30 à 35 mètres de puissance, peu fossilifère, contenant des couches de calcaire marneux jaunâtre ou bleu noirâtre (nos 2 et 3 de la figure 399).

Dans les environs de Caen, cette assise prend un faciès différent. C'est un calcaire blanc, finement oolithique en général, facile à tailler et durcissant à l'air, divisé en couches de 0^m25 à 1^m50, que l'on exploite dans de nombreuses carrières sous le nom de *pierre de Caen* (no 478). Il est séparé de l'oolithe blanche de Port-en-Bessin par un lit d'argile ou *banc bleu* et renferme à sa partie supérieure plusieurs lits de silex. Dans

certaines couches, ce calcaire est terreux et tache les doigts ; dans quelques autres il est plus dur, plus compact et perd la texture oolithique pour devenir spathique. On y trouve des restes de grands sauriens, comme le *Teleosaurus* et le *Megalosaurus*, et des poissons.

C'est ce calcaire qui forme à l'ouest de la ville de Caen la *plaine*, dont les terres sont si renommées pour leur fertilité.

La grande oolithe consiste en un calcaire, de faciès assez variable, mais contenant presque toujours à sa partie supérieure de nombreux débris de bryozoaires.

A Ranville, sur les bords de l'Erdre, où elle a une épaisseur de 18 à 20 mètres, elle se divise en deux parties distinctes. La partie supérieure, ou *caillasse*, dont la puissance est de 7 mètres, est tendre, marneuse, se délite à l'air et n'est presque d'aucun usage; les bryozoaires y abondent. La partie inférieure, exploitée sur 8 à 10 mètres de hauteur, fournit une excellente pierre de construction ; elle est composée d'un calcaire gris jaunâtre, renfermant des fossiles qui se croisent dans tous les sens et des lamelles spathiques, ce qui donne à la masse une grande cohésion. Ce calcaire, qui pèse 2.260 kilogrammes le mètre cube et résiste à des charges d'au moins 200 kilogrammes par centimètre carré, est employé dans les ouvrages d'art; il a servi à construire le soubassement du vieux château de Caen.

729. Étage oxfordien. — L'oolithe moyenne constitue dans la Normandie une contrée distincte de celle qui est occupée par l'oolithe inférieure. Les argiles et les marnes qui dominent dans l'étage oxfordien entretiennent une humidité favorable à la végétation et surtout aux prairies ; c'est sur cet étage que se trouvent les fertiles pâturages du pays d'Auge.

La forme du terrain est également différente. A la grande plaine si uniforme de Caen succède, quand on se dirige vers l'est, un pays coupé de vallées larges et assez profondes, séparées par des plateaux élevés d'une centaine de mètres au-dessus de la mer. De loin en loin on y voit des carrières d'où l'on extrait de l'argile pour la fabrication des briques.

L'oxfordien, dont la puissance est de 100 à 150 mètres et

qu'on peut étudier facilement dans les falaises de Villers-sur-Mer, à Beuzeval et à Dives, comprend d'abord à sa base des argiles et calcaires ferrugineux à *Ammonites macrocephalus*, qui correspondent au *Kelloway-rock* et qui reposent en stratification discordante sur les assises bathoniennes ; au contact le calcaire à bryozoaires présente des surfaces corrodées et perforées par des mollusques lithophages. Au-dessus s'étendent les argiles inférieures, ou *argiles de Dives*, épaisses d'une soixantaine de mètres, avec bancs de calcaire marneux, et particulièrement riches en fossiles tels que *Ammonites Lamberti*, *Ammonites athleta*, *Ostrea dilatata*. Les argiles qui suivent, dites *argiles de Villers*, avec 30 mètres environ de puissance, sont également très fossilifères ; elles contiennent des fossiles identiques à ceux des argiles de Dives, mais s'en distinguent par la présence de l'*Ammonites Mariæ*. Enfin, une troisième assise d'argile de 9 à 10 mètres, à *Ammonites cordatus* et *Ostrea gregarea*, avec lits de calcaire noduleux à oolithes ferrugineuses, clôt la série oxfordienne.

C'est cette masse argileuse qui constitue, entre autres, la falaise classique des *Vaches noires*. Délitée par les agents atmosphériques, elle se crevasse, s'éboule fréquemment, et forme des talus dont les déclivités ravinées contrastent avec les falaises calcaires par leur couleur sombre aussi bien que par leurs formes. Au pied abondent les fossiles, dégagés par les eaux, et il est facile d'en faire une ample récolte.

730. Étage corallien. — L'oxfordien est couronné par des calcaires appartenant à deux assises distinctes : d'abord des calcaires oolithiques, ou *oolithe de Trouville*, avec oursins et nérinées ; puis des calcaires compacts à polypiers, ou *coral-rag*. Cet ensemble, qui constitue l'étage corallien, n'a pas plus de 31 à 40 mètres de puissance totale.

Sur le plateau d'Auberville, les calcaires coralliens sont sillonnés de fissures par lesquelles les eaux ont pu pénétrer jusqu'à l'argile oxfordienne et couler à leur surface jusqu'à la mer. Cette argile, en se ramollissant et s'affaissant, produit des surfaces bouleversées qui sont une des curiosités de la côte et que l'on désigne sous le nom de *chaos*.

Le calcaire à polypiers n'est pas constant ; à Hennequeville il est remplacé par des bancs de calcaire dur avec un calcaire tendre à trigonies, et près de Lisieux, par un sable jaunâtre avec rognons de grès calcarifère.

Au Hâvre, le corallien est argileux et on peut à peine le distinguer des étages oxfordien et kimmeridgien entre lesquels il est intercalé.

731. Étage kimmeridgien. — Le calcaire à astartes, qui forme la partie inférieure du kimmeridgien comme dans l'est de la France et contient à peu près les mêmes fossiles, notamment *Artarte minima* et *Ostrea deltoïdea*, a généralement le faciès calcaire dans l'intérieur de la Normandie ; à l'embouchure de la Seine, il est surtout argileux. Son épaisseur est au maximum de 15 à 16 mètres.

Au-dessus se trouvent les argiles bleues à gryphées virgules, dites *argiles de Honfleur*, qui forment seules la falaise entre Bléville et Octeville et dont la puissance, égale à 40 ou 45 mètres aux environs du Hâvre, s'accroît notablement dans l'intérieur de la région normande. On pourrait les confondre avec les argiles oxfordiennes, sans la différence des faunes.

Quant à l'étage portlandien, il fait défaut. On ne le retrouve que dans le pays de Bray.

§ IV.

MASSIF DU JURA.

732. Configuration générale. — Le Jura est une contrée naturelle qui se sépare très nettement des régions avoisinantes. Il se développe au milieu d'une enceinte presque continue de reliefs plus ou moins fortement accusés constitués par les Alpes, la Forêt Noire, les Vosges et la Côte-d'Or, arête montagneuse qui sépare la vallée de la Saône du bassin hydrographique de la Loire.

Sur la carte, le Jura a l'aspect d'un croissant à concavité tournée vers les Alpes, qui traverse la Suisse et se prolonge en France jusqu'à Chambéry, en occupant surtout, dans ce dernier pays, l'espace compris entre le Rhône et l'Ain. La corde de ce croissant est d'environ 300 kilomètres.

Cette allure curviligne est bien indiquée par la direction générale des chaînons, qui forment une série de crêtes parallèles dont Thurmann a compté plus de 160. Tantôt ils se terminent progressivement ; tantôt ils sont coupés par ces fractures transversales, à parois escarpées, auxquelles on a donné le nom de *cluses*.

Le plus grand nombre des cours d'eau coulent entre les chaînons dans des vallées longitudinales. Quelques-uns passent d'une vallée à l'autre par les cluses.

Le massif montagneux du Jura n'est donc pas constitué par une chaîne unique. C'est en réalité un grand plateau fortement dénudé et sillonné de vallées profondes, qui est doucement incliné vers le nord et vers l'ouest et qui tourne vers les Alpes sa face abrupte. On pourrait dire qu'il a en grand la physionomie d'une surface conique gauche. Nous retrouvons encore là cette forme dissymétrique signalée pour tous les massifs de montagnes (n° 197) et qui est une règle sans exception.

733. Accidents stratigraphiques. — Le Jura est considéré comme le type des régions plissées. Il présente en effet, surtout sur sa lisière orientale, toute une série de plissements alternativement synclinaux et anticlinaux (n° 176) qui sont la marque évidente d'un refoulement latéral.

Mais ces accidents ne sont pas les seuls qui affectent les couches. Il y a en outre un grand nombre de failles, dues au même phénomène de dislocation, et dont le principal effet a été de découper, par leur entrecroisement, la masse du Jura en fragments prismatiques situés à des niveaux différents. De là cette disposition en gradins qu'offrent les plateaux du Jura français en s'échelonnant les uns à la suite des autres de l'ouest à l'est. Toutefois les différences de niveau sont peu sensibles, parce que les agents atmosphériques ont tendu à effacer les saillies du sol.

M. Marcel Bertrand, qui a si bien étudié la structure du Jura, a fait voir quelles allures singulières prennent parfois les failles secondaires qui accompagnent les grandes failles, dirigées à peu près parallèlement aux chaînons, entre Besançon et Salins. Loin d'être rectilignes ou fortement inclinées, comme ces dernières, elles peuvent être horizontales, sinueuses, ou même dessiner à la surface des courbes fermées.

Fig. 400. — Coupe du jurassique au sud de Vorges (d'après M. Bertrand). — 1, marnes irisées ; 2, infralias et calcaire à gryphées ; 3, lias ; 4, bajocien ; 9, corallien.

C'est ainsi que près du village de Vorges, au sud-ouest de Besançon, on voit les couches du bajocien inférieur reposant sur les assises d'âge plus récent, à peine dérangées de l'horizontale, du corallien ou du kimméridgien (fig. 400). C'est là l'effet d'une faille inclinée de 5 à 6 degrés seulement sur l'horizon, qui se termine contre une grande faille verticale, et le long de laquelle a glissé un paquet de couches qui avaient été préalablement relevées sur un point plus ou moins éloigné.

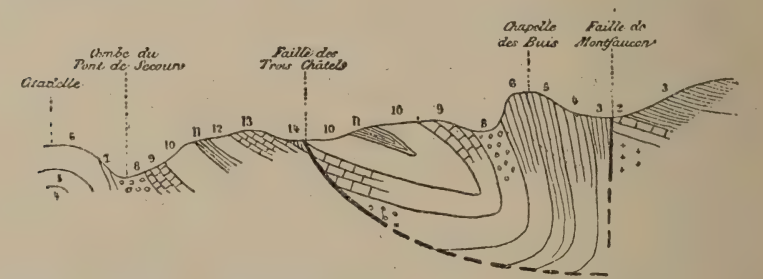


Fig. 401. — Coupe relevée par M. Parandier, près de Besançon. — 2, infralias et calcaire à gryphées ; 3, lias ; 4, bajocien ; 5 et 6, bathonien ; 8, oxfordien ; 9, corallien ; 10, astartien ; 11, ptérocérien ; 12, virgulien et bolonien ; 13, portlandien ; 14, poudingue post-portlandien.

Dans les environs de Besançon, la faille connue sous le nom de faille des Trois-Châtels, qui se prolonge sur une

grande longueur, offre une surface irrégulière, à courbure et à inclinaison variables (fig. 401). Un paquet de couches, pincé entre cette faille et celle de Montfaucon, se trouve replié en forme de V renversé ou même couché presque horizontalement. On constate en outre en ce point la relation qui unit les ploiements et les failles. C'est là un fait général ; les couches, au voisinage de ces dernières, s'infléchissent toujours parallèlement à leur direction.

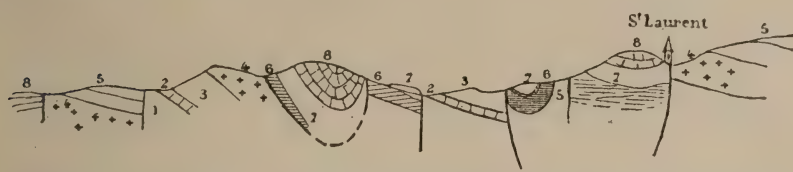


Fig. 402. — Coupe E.-O. au sud de Lons-le-Saulnier (d'après M. Bertrand). — 1, marnes irisées ; 2, infralias et calcaire à gryphées ; 3, lias ; 4, bajocien ; 5, bathonien ; 6, oxfordien ; 7, corallien ; 8, astartien.

Ailleurs, ce sont des terrains qui se trouvent isolés au milieu de terrains plus anciens contre lesquels viennent buter leurs couches, comme le montre la figure 402, où une bande comprenant des assises bathoniennes, oxfordiennes et coralliennes est englobée dans le bajocien et l'oxfordien. On ne peut expliquer cette disposition que par un affaissement qui a donné naissance à un bassin fermé et dont les failles ne sont que la conséquence.

Le plus souvent ces affaissement ont été causés par des vides souterrains, peu éloignés de la surface, produits par les eaux qui sont arrivées à la longue à dissoudre les calcaires et autres matières solubles ou à délayer les argiles.

Toutes les observations s'accordent d'ailleurs à démontrer que le massif jurassien est rempli de nombreuses cavités et plusieurs de ses vallées portent bien le cachet de vallées d'effondrement. Limitées latéralement par des parois très abruptes, elles se terminent brusquement vers le haut par une sorte de cirque escarpé et sans issue, auquel les montagnards donnent le nom très expressif de *Bout-du-monde*. L'amphithéâtre de ces dépressions est muni d'une source volumineuse du type des sources vauclusiennes (no 50).

Par suite de cette structure caverneuse, la surface du Jura est comparable à un crible et sa masse intérieure à une éponge. De là résulte, comme le fait remarquer M. Vézian, le principal caractère du régime hydrographique souterrain et superficiel de la contrée. Les rivières, à part celles qui coulent dans les vallées profondes ou les parties basses du Jura, ont un parcours restreint; elles disparaissent rapidement dans les cavités qu'elles rencontrent sur leur passage et l'on a ainsi des vallées fermées.

Les sources vauclusiennes telles que le Dessoubre, la Loue, le Lison, etc., doivent être considérées comme les points où de véritables rivières souterraines coulent tout d'un coup à ciel ouvert pour rentrer souvent de nouveau dans les profondeurs du sol. Elles sont peu nombreuses, mais leur débit est considérable.

734. Division du Jura français en trois zones. — Les failles et les plissements, qui donnent au Jura sa physionomie spéciale, sont surtout concentrés, au moins en ce qui concerne la partie française, sur les bordures orientale et occidentale du massif. Ces accidents permettent ainsi de diviser le Jura en trois zones, orientées nord-est sud-ouest avec une tendance marquée à s'infléchir vers le sud. La bande plissée occidentale est ce que l'on appelle la *région des vignes*, la seconde est la *région des plateaux* et la bande plissée orientale est la *région des hautes chaînes*.

La première région est celle dans laquelle affleurent principalement les couches marneuses du trias et du lias ; elle est sillonnée profondément par des failles et des plissements, grâce auxquels quelques lambeaux du jurassique supérieur sont ramenés à l'ouest. On y cultive la vigne jusqu'à 400 mètres de hauteur, dans les endroits bien exposés, de préférence sur les marnes liasiques ; la culture du maïs y est aussi très répandue.

La région des plateaux, ou région moyenne, est beaucoup moins disloquée. Les altitudes y augmentent progressivement par gradins successifs, de 500 jusqu'à 900 mètres, à mesure qu'on s'avance vers l'est. Sur le premier gradin affleurent les

étages inférieurs du jurassique ; sur le gradin le plus élevé, le jurassique supérieur et le crétacé inférieur. Cette subdivision en gradins est due à trois grandes failles longitudinales qui traversent le massif, tout en convergeant vers le sud, en sorte que la largeur des gradins va en se réduisant dans cette direction. Les lignes qui caractérisent le paysage dans la région moyenne sont surtout des lignes droites, horizontales quand elles correspondent à la surface des plateaux, verticales ou formées d'éléments rectilignes faiblement inclinés quand elles dessinent le plan des plateaux. La vigne n'existe plus dans cette région, le maïs devient rare, mais le froment donne encore de bons produits jusqu'à 700 mètres d'altitude ; les forêts sont composées de chênes et de hêtres.

La région des hautes chaînes, qui se poursuit jusqu'à la plaine de la Suisse occidentale, est une zone essentiellement plissée où les véritables failles sont rares. Il y a là une série de plis brusques, souvent limités par des cassures, où les couches néocomiennes se montrent pincées entre les ondulations des calcaires jurassiques supérieurs, formant ainsi une série de rides parallèles dont l'altitude va en croissant jusqu'à la crête principale (1.691 mètres au Colombier, 1.720 mètres au Reculet), qui domine la plaine suisse. C'est dans cette zone qu'on constate les grands plissements réguliers qui ont rendu le Jura classique pour l'étude de ces accidents stratigraphiques.

Dans les parties qui ne s'élèvent pas au-delà de 1.100 mètres, la zone des hautes chaînes se prête encore à la culture de l'orge et de l'avoine ; mais il n'y a plus d'arbres fruitiers et les forêts de sapins et d'épiceas remplacent celles de chênes et de hêtres. On trouve des pâturages sur les points les plus élevés.

Le massif du Jura comprend encore des terrains plus récents que le jurassique et le néocomien, mais il sont peu développés. Les assises postérieures au miocène s'étendent à son pied avec une parfaite horizontalité.

Quant aux roches éruptives, elles manquent à peu près complètement. On ne rencontre le granite qu'au sommet de la montagne de la Serre (arrondissement de Dôle), au milieu

d'un petit affleurement de gneiss et de micaschistes entouré d'une faible largeur de terrain permien.

735. Formation du Jura. — Le Jura a acquis son relief définitif à la fin de la période miocène, à la même époque que les Alpes ; mais ce n'est pas sans avoir été soumis préalablement à de nombreuses oscillations, surtout dans les périodes oolithique et crétacée. Déjà à la fin de la première, la partie orientale était émergée, car les couches crétacées y font défaut, puis l'émersion s'est propagée peu à peu vers l'ouest.

C'est à la présence d'anciens massifs de consolidation qu'est due la forme curviligne du Jura. Par suite du refoulement énergique venant du sud-est auquel il a été soumis, ses couches sont allées s'écraser au nord contre la Forêt Noire et les Vosges, au nord-ouest contre la masse de terrain primitif reliant les Vosges au Plateau Central et accusé par la petite protubérance intermédiaire de la Serre, sorte de ride primaire, à l'ouest contre le prolongement du Plateau Central masqué par la plaine de la Bresse.

736. Lias. — Le lias du Jura ne diffère pas sensiblement de celui de la Bourgogne et de la Lorraine, mais il a une épaisseur bien moins considérable.

Le rhétien, qui consiste surtout en grès, contient quelquefois un *bone-bed* à sa base et l'hettangien, réduit à 2 ou 3 mètres, est généralement représenté par des calcaires bleus assez fossilifères.

Quant au lias proprement dit, il ne présente non plus rien de particulier. Le sinémurien comprend, dans les environs de Salins, des calcaires à gryphées arquées, souvent propres à la fabrication de la chaux hydraulique ; le liasien, des marnes à *Gryphæa cymbium*, *Ammonites margaritatus ;* le toarcien, des schistes bitumineux à posidonies et des marnes que surmonte un minerai de fer oolithique à *Ammonites opalinus*.

Le lias donne à la base des montagnes jurassiennes des terres fertiles, qui sont plantées en vignes quand l'exposition est favorable, et ailleurs couvertes de prairies qu'il est facile d'arroser au moyen des sources nombreuses qui débouchent à leur niveau supérieur.

737. Étages bajocien et bathonien. — En Franche-Comté, l'étage bajocien, dont l'épaisseur est d'une centaine de mètres, se compose de trois assises :

3. Calcaire à polypiers rempli de nodules siliceux.
2. Calcaire à entroques.
1. Oolithe ferrugineuse à *Ammonites Murchisonæ*.

L'oolithe ferrugineuse est exploitée comme minerai de fer dans l'arrondissement de Dôle ; elle renferme de nombreuses ammonites. Le calcaire à entroques donne souvent de très bons matériaux de construction ; dans les environs de Lons-le-Saulnier, c'est une roche compacte, dure, rougeâtre, qui pèse 2.615 kilogrammes le mètre cube et qui ne s'écrase que sous une charge de 770 kilogrammes par centimètre carré ; on l'a employée pour les ouvrages d'art du chemin de fer de Lyon à Besançon.

Le bathonien comprend les assises suivantes :

4. Dalle nacrée.
3. Grande oolithe à *Rhynchonella decorata*.
2. Calcaires marneux à pholadomyes.
1. Marnes à *Ostrea acuminata*.

Les deux assises inférieures, qu'on réunit quelquefois sous le nom de *sous-étage vésulien*, à cause du développement qu'elles prennent près de Vesoul, se distinguent dans le Jura dôlois par leurs vives colorations, qui frappent dès le premier coup d'œil.

Les bancs que l'on exploite au pied du Mont Roland, dans les grandes carrières de Sampans (arrond. de Dôle), sur une épaisseur de 15 mètres, sont situés à la partie supérieure de ce sous-étage. Ce sont des calcaires compacts à oolithes irrégulières, peu serrées ; ils sont très durs et très résistants, susceptibles de poli et propres à l'ornementation. Leurs nuances varient du gris jaunâtre au violacé et au rouge vif ; les plus belles pierres se trouvent généralement à la base, comme celles d'un rouge de sang avec lesquelles on a fait les colonnes posées au nouvel Opéra à Paris (n° 477).

La grande oolithe a des caractères assez constants dans toute la Franche-Comté. Elle consiste généralement en un

calcaire oolithique blanc à nérinées, assez tendre, d'apparence crayeuse, surmonté par un calcaire compact très dur. Ce dernier, qui a 50 mètres d'épaisseur, forme de nombreux escarpements qui constituent les accidents les plus pittoresques du Bas-Jura ; il est souvent fendillé et déchiqueté de manière à simuler des ruines.

A Velesmes, dans l'arrondissement de Besançon, on exploite à ce niveau un calcaire blanchâtre, parfois tacheté de rose pâle, qui pèse près de 2.600 kilogrammes le mètre cube et qui ne s'écrase que sous une charge de 750 kilogrammes par centimètre carré. Il a servi à la construction de plusieurs monuments de la ville de Besançon et de divers ouvrages d'art.

L'assise supérieure, qui n'a que quelques mètres à Besançon, atteint 35 à 40 mètres dans les environs de Dôle, où elle renferme le *Terebratula digona*, le *T. cardium*, l'*Ostrea costata*. Elle se compose ordinairement de bancs calcaires bien stratifiés alternant avec des lits marneux et se termine par des couches jaune foncé, divisées parfois en dalles très minces par des fissures obliques à la stratification, avec de grandes huîtres à reflets nacrés, ce qui leur a fait donner par Thirria le nom de *dalles nacrées*. Ces dalles peuvent être employées pour la couverture des maisons.

738. Étage oxfordien. — L'étage oxfordien est facile à étudier dans les environs de Besançon où il se montre bien à découvert.

Au-dessus de la dalle nacrée apparaissent d'abord des marnes grises de 2 à 3 mètres d'épaisseur à *Ammonites anceps* et *A. athleta* ; puis, en montant la colline qui supporte le fort de Palente, on voit s'étager, sur une centaine de mètres de puissance, des marnes bleues avec intercalation de bancs plus durs.

A la base, ces marnes sont feuilletées, mais elles deviennent rapidement terreuses au contact de l'air ; elles renferment de nombreux fossiles, entre autres *Ammonites Mariæ* et beaucoup d'autres ammonites pyriteuses que leur petite taille ne permet pas toujours de déterminer avec exactitude.

Les marnes alternent bientôt avec des calcaires marneux sous forme de bancs massifs, ou découpés en fragments arrondis que les géologues du Jura désignent sous le nom de *sphérites*. Ces bancs, d'abord largement séparés par des couches de marne feuilletée, se rapprochent ensuite davantage ; leur teinte bleue primitive passe au jaune clair, puis au jaune roux ; ils se chargent de plus en plus de silice ; les fossiles pyriteux sont peu à peu remplacés par des fossiles calcaires, en même temps que la faune se modifie.

Sur les bancs marno-calcaires jaune roux repose, vers le sommet de la colline, une roche de même couleur, mais désagrégée et terreuse, renfermant des fragments compacts et de nombreux nodules plus ou moins siliceux désignés sous le nom de *chailles* ; quelques-uns ont une cavité centrale remplie de silice pulvérulente. Tel est l'aspect que présente cette zone, caractérisée par le *Pholadomya exaltata*, tout autour du fort ; il est dû à l'action des agents atmosphériques, car dans les carrières fraîchement ouvertes, on voit les couches marno-calcaires en bancs massifs au milieu desquels les chailles sont noyées.

Ce calcaire marneux est souvent propre à la fabrication de la chaux hydraulique.

A Dôle, où l'étage a une épaisseur moitié moindre que dans les environs de Besançon, les marnes diminuent beaucoup d'importance et supportent un calcaire oolithique moyennement dur, résistant, blanc jaunâtre, que l'on exploite pour la construction et dont on fait usage pour les monuments publics.

739. Étage corallien. — Les géologues du Jura emploient souvent le mot de corallien pour désigner des assises d'âges divers, synchroniques ou non du coral-rag, pourvu qu'elles aient le faciès coralligène. Aussi, pour éviter toute confusion, on donne parfois à cet étage le nom de *rauracien*[1].

En Franche-Comté, son faciès est à peu près le même qu'en Lorraine. Ce sont des bancs à polypiers et des calcaires gru-

1. De *Rauracie*, désignation romaine de la région du Jura.

meleux à *Glypticus*, surmontés par des calcaires oolithiques à dicérates et des calcaires compacts. A la base, il y a souvent des bancs marneux que l'on exploite pour la fabrication de la chaux hydraulique à Quingey.

Les calcaires durs coralliens sont estimés pour la construction. On les extrait par exemple dans les environs de Delle, où ils ont une résistance de plus de 900 kilogrammes par centimètre carré. On s'en est servi pour la construction de plusieurs églises et de divers ouvrages d'art de chemins de fer et de canaux.

Quand on se dirige vers le sud-est pour passer dans le Bugey, on voit le faciès coralligène abandonner l'étage corallien et se localiser dans les assises qui lui sont superposées. Les calcaires marneux deviennent abondants à la partie inférieure et ils se font parfois remarquer par leur richesse en spongiaires. On y trouve cependant encore des bancs durs et compacts ; telle est la pierre que l'on exploite dans les carrières de Drom à 15 kilomètres de Bourg-en-Bresse. C'est un calcaire blanc grisâtre, qui se présente avec des hauteurs d'assise de 3 mètres et qui ne s'écrase que sous une charge de plus de 1.000 kilogrammes par centimètre carré. On en fait usage en Suisse, dans les cantons de Genève et de Vaud.

740. Étage kimmeridgien. — Le kimmeridgien se divise en quatre sous-étages dans le Jura septentrional où il a une grande importance :

4. Bolonien. — Zone à *Ammonites giyas.*
3. Virgulien. — Zone à *Exogyra virgula.*
2. Ptérocérien. — Zone à *Pterocera Oceani.*
1. Séquanien. — Zone à *Ostrea deltoïdea.*

Le *séquanien*, que l'on appelle aussi *astartien* à cause de la présence de plaquettes à *Astarte minima*, a une épaisseur de 60 mètres en Franche-Comté. Il comprend des calcaires compacts, parfois un peu marneux, des calcaires jaunes à oolithes miliaires, des calcaires gris bleuâtre se séparant en dalles et des marnes qui souvent prédominent, comme à Gray. Vers la partie supérieure, on constate çà et là des calcaires coralliens avec nérinées et dicérates.

Le banc des calcaires exploités entre Saint-Ylie et Damparis (n° 477), dans l'arrondissement de Dôle, appartient au séquanien. Il y a là un magnifique gisement de pierres d'excellente qualité, très heureusement situé sur les bords du canal du Rhône au Rhin, et connu depuis longtemps, car on retrouve ces pierres dans plusieurs anciennes églises de la Franche-Comté.

Le *ptérocérien* est développé surtout dans les environs de Porrentruy et de Lons-le-Saulnier. C'est un ensemble de 50 à 70 mètres d'épaisseur de calcaires marneux, souvent très fossilifères.

A Besançon, le *virgulien* consiste en calcaires marneux intercalés entre deux bancs à *Exogyra virgula*. Dans les environs de Gray, ce sont des calcaires blancs compacts divisés en lits minces.

Quant au *bolonien*, il est partout à l'état compact, avec de faibles intercalations marneuses. Il est parfois tout criblé de tubulures et il est caractérisé par l'*Ammonites gigas*.

Dans le Jura méridional, l'étage kimmeridgien se signale par le développement du faciès coralligène et la présence de fossiles tellement analogues à ceux de l'étage corallien du bassin de Paris qu'on pourrait se tromper sur l'âge de ses couches. Ainsi à Valfin, près de Saint-Claude, cet étage est à l'état de calcaires compacts et oolithiques avec polypiers, dicérates et nérinées, formant un récif d'une grande puissance.

741. Étage portlandien. — Le portlandien se lie intimement au kimmeridgien. On peut lui rapporter les couches de calcaire compact qui surmontent les calcaires à tubulures de Gray et dans lesquelles on trouve le *Trigonia gibbosa*. Au-dessus de ces calcaires vient une dolomie cloisonnée, jaune ou rougeâtre, dépourvue de fossiles.

On trouve en quelques points du Jura des couches d'eau douce qui terminent la série jurassique et qui paraissent représenter le sous-étage purbeckien, ou *Purbeck beds* des géologues anglais. Elles se montrent notamment dans les environs de Pontarlier, où elles renferment du gypse ; les fossiles

qu'on y rencontre consistent en espèces caractéristiques de planorbes, physes, limnées, etc.

§ V.

TYPES DIVERS DU SYSTÈME OOLITHIQUE.

742. Charentes et Poitou. — Le détroit qui, au début de la période oolithique, unissait encore la mer parisienne et la mer pyrénéenne, et sur l'emplacement duquel se trouve le Poitou, a achevé de se combler vers le milieu de cette période. Les dépôts qui l'occupent forment une sorte de dos d'âne calcaire s'étendant de la Vendée au Limousin, sur les deux versants duquel les assises oolithiques se reproduisent d'une manière symétrique. Mais tandis que dans le bassin de Paris les étages supérieurs sont masqués par le miocène, ils affleurent sur le versant méridional en une large zone qui s'étend du nord-ouest au sud-est, avec plongement des couches vers le sud-ouest, depuis le bord de la mer jusqu'au Plateau Central qu'elle longe en se rétrécissant, pour reprendre plus d'ampleur dans le Lot.

Dans cette zone, l'inclinaison des collines est en rapport avec la stratification. Leurs pentes se prolongent généralement vers le sud-ouest, tandis que vers le nord-est elles sont plus ou moins abruptes.

Oolithe inférieure. — Les *étages bajocien* et *bathonien* sont presque entièrement composés de calcaires durs et solides, oolithiques ou compacts, ne donnant lieu qu'à des terres pierreuses et de peu de valeur, quelquefois même d'une stérilité complète. En raison de sa pauvreté en débris organiques et de l'absence à peu près absolue de bancs marneux ou argileux, il est très difficile de retrouver dans cet ensemble toutes les divisions correspondant à celles du bassin de Paris.

A la base, on observe l'oolithe ferrugineuse avec des carac-

tères pétrographiques et des fossiles analogues à ceux de la Normandie et de l'Est.

La grande oolithe, dont l'épaisseur est de 35 à 40 mètres, se signale par la grande quantité de silex tuberculeux qu'elle renferme et qu'on exploite pour l'empierrement des routes. Dans la Charente, notamment à Beaulieu, Cellefrouin, Saint-Claud, plusieurs de ses bancs consistent en un calcaire blanchâtre, à cassure terne, assez dur et susceptible de prendre un demi-poli, qui fournit des pierres de taille estimées.

C'est aussi dans la grande oolithe que sont ouvertes les importantes carrières de Chauvigny (Vienne). On y exploite un calcaire oolithique blanc et homogène, assez dur, dont la force portante est de 300 kilogrammes environ par centimètre carré. Cette belle pierre est en usage pour balcons et soubassements à Paris, Orléans, Poitiers, Angers, Bordeaux, et on l'expédie en Belgique, en Suisse et en Espagne. On l'a employée notamment pour la restauration de la cathédrale d'Orléans.

Les calcaires de l'oolithe inférieure sont pour la plupart propres à donner une bonne chaux grasse, que l'on emploie sur une vaste échelle pour le chaulage des terres granitiques et argilo-sableuses.

Oolithe moyenne. — La partie inférieure de l'*oxfordien*, ou *callovien*, atteint parfois une épaisseur qui dépasse 50 mètres et l'emporte par son développement sur le reste de l'étage, qui est généralement marneux. Sa position stratigraphique est établie par les fossiles qu'on y rencontre, et notamment l'*Ammonites macrocephalus*.

Contrairement à ce que nous avons vu dans les régions étudiées jusqu'à présent, le callovien du Poitou et des Charentes, qui est essentiellement calcaire, renferme de magnifiques pierres d'appareil, tantôt oolithiques, tantôt compactes.

Le calcaire oolithique de la base est souvent formé par de grosses oolithes, de la grosseur moyenne d'un pois, irrégulières ; il se désagrège avec facilité quand elles sont engagées dans une masse marneuse, mais il a une grande solidité lorsque le ciment devient cristallin. Au-dessus, les oolithes dimi-

nuent de dimensions et on a la variété dite *miliaire*. Ces bancs, exploités dans les carrières de Montbron (Charente), conviennent parfaitement pour les marches d'escalier, les trottoirs, les parapets de ponts.

A Vilhonneur, à peu de distance des grottes de Rancogne, se trouvent de grandes carrières dans lesquelles on exploite un calcaire analogue sur 40 mètres de puissance. Cette roche forme des bancs de $0^m,25$ à 2 mètres et au-delà ; elle a une belle teinte blanche ; elle est fine, régulière et très homogène de grain. Sa charge d'écrasement est d'environ 600 kilogrammes par centimètre carré. Elle est facile à travailler et ses arêtes peuvent prendre les formes les plus délicates. Aussi l'emploi s'en répand de plus en plus dans toutes les villes de l'ouest de la France.

Les grandes carrières souterraines des Lourdines, dans l'arrondissement de Poitiers, sont aussi ouvertes dans les calcaires calloviens. La pierre qu'on en extrait est tendre ou demi-dure, blanche, homogène, à grain très fin, un peu crayeuse ; sa force portante est de 225 kilogrammes par centimètre carré. Le banc royal est d'une qualité exceptionnelle et convient particulièrement pour la statuaire et l'ornement. Entre autres emplois remarquables de cette pierre, nous citerons les escaliers et les vestibules du château des Tuileries et le palais de justice de Bruxelles.

Le *corallien* se présente dans la Charente avec des caractères assez uniformes. Il ne comprend guère que des bancs calcaires, parfois oolithiques, dont plusieurs sont remplis de polypiers ou de nérinées et fournissent d'excellentes pierres de taille. Comme l'élément argileux y fait défaut, les terrains provenant de sa désagrégation sont pierreux et ils ne peuvent guère être cultivés que quand ils sont pourvus çà et là de cette terre rougeâtre connue sous le nom de *varenne*.

Cet étage, de même que l'oolithe inférieure et le corallien, est traversé de nombreuses crevasses dans lesquelles s'engouffrent les eaux. On y trouve souvent d'énormes polypiers à l'état saccharoïde et lamellaire, plus durs que la masse, à la surface de laquelle ils apparaissent souvent sous forme de gros tubercules.

Oolithe supérieure. — L'*étage kimmeridgien* est celui qui est le mieux représenté dans la région qui nous occupe. On y retrouve, avec leurs caractères paléontologiques nettement marqués, l'astartien, le ptérocérien et le virgulien du Jura. Ce sont des alternances de calcaires et de marnes, qui sont susceptibles de donner tantôt de bonnes terres argilo-calcaires propres à la culture des céréales, tantôt des terrains pierreux dans lesquels se plaît la vigne.

A la partie supérieure du *portlandien* se trouve dans les deux Charentes un ensemble de couches caractérisé par la présence du gypse et de fossiles d'eau douce, qui correspond au *purbeckien* de l'Angleterre (n° 746). La région où affleurent ces couches forme une vaste plaine connue sous le nom de *Pays-Bas*, qui s'étend de Cognac à Saint-Jean-d'Angely et qui contraste avec les coteaux ondulés qui l'entourent de toutes parts. C'est dans le lac qui remplissait cette dépression que se sont déposées les roches purbeckiennes, consistant à la base en calcaires cariés accompagnés de marnes verdâtres, sur lesquels repose une masse puissante d'argile avec amas subordonnés de gypse et quelques bancs calcaires.

Ces argiles sont estimées pour la fabrication des tuiles ; elles sont quelquefois lignitifères. Les bancs de gypse, au nombre de trois ou quatre, n'ont généralement pas plus de 2 à 3 mètres d'épaisseur et se présentent sous la forme lenticulaire ; on les exploite sur plusieurs points. Les bancs calcaires, généralement durs, sont utilisés pour la construction partout où on peut les atteindre sans trop de frais ; ce sont les seuls matériaux solides que l'on trouve dans le Pays-Bas.

743. Aveyron et Lot. — Dans le golfe de l'Aveyron, qui échancre la bordure méridionale du Plateau Central, le système oolithique, dont la puissance peut dépasser 500 mètres pour les trois étages inférieurs, est presque exclusivement calcaire. Les fossiles y manquent à peu près complètement, ce qui rend douteuse l'assimilation des assises aux types de la série classique.

Le *bajocien* se compose de marnes et de calcaires siliceux auxquels sont superposés des calcaires à entroques ; le tout a

une centaine de mètres d'épaisseur. Au-dessus, le *bathonien*, dont l'épaisseur est à peu près la même, consiste en calcaires à polypiers et calcaires dolomitiques ; dans les environs de Milhau on y exploite quelques lits minces de lignite sec, intercalés dans des couches argileuses à fossiles marins et lacustres. L'*oxfordien* lui-même, où domine l'élément argileux dans le bassin de Paris, est ici à l'état de calcaires compacts et dolomitiques. Ces roches fournissent pour la plupart de bons matériaux de construction.

Le système oolithique constitue dans cette région de grands plateaux qui se rattachent à ceux du haut Quercy, dans le département du Lot, et que l'on désigne sous le nom de *causses*. Des vallées étroites et encaissées, dont la profondeur peut atteindre 500 mètres, les découpent et laissent voir sur leurs versants rapides les épaisseurs considérables et l'uniformité des divers étages ; au fond, sur les marnes toarciennes, coulent le Tarn et ses affluents. Ces vallées seraient souvent très difficiles à traverser pour le piéton si l'on ne trouvait de loin en loin, le long de leurs parois, de véritables escaliers naturels, composés d'une suite d'escarpements qui correspondent aux roches les plus dures et de talus à pente adoucie qui sont formés par les calcaires tendres ou les marnes.

Les couches sont à peu près horizontales et on n'y aperçoit çà et là que de légères ondulations. Les eaux pluviales qui tombent à leur surface disparaissent dans les fissures qui les traversent ou s'engouffrent dans des dépressions comblées de blocs incohérents, pour alimenter des cours d'eau souterrains qui apparaissent dans le fond des vallées en sources souvent très abondantes.

Par suite de leur fissuration, les calcaires jurassiques de l'Aveyron et du Lot sont éminemment propres à la formation des grottes ou cavernes. Celles-ci s'y trouvent effectivement en très grand nombre ; elles sont dues soit à des mouvements de retrait des roches, soit à l'action érosive des eaux, soit à des affaissements locaux, soit à ces diverses causes réunies. Les célèbres caves naturelles de Roquefort, par exemple, résultent de l'accumulation de grands blocs à la suite de glissements superficiels sur un talus argileux.

Toutes ces grottes se présentent à peu près dans des conditions identiques. Elles ont leur ouverture dans des escarpements ou des coteaux à pente rapide ; elles s'étendent presque horizontalement, d'une manière très sinueuse, tantôt en galeries étroites, tantôt en salles immenses de plus de 40 mètres de hauteur; on en connaît qui se développent sans interruption sur une trentaine de kilomètres. Elles sont généralement indiquées à la surface par des séries d'entonnoirs ou bétoires (n° 59), par des vapeurs aqueuses sortant du sol, par les courants d'air aspirés ou expirés avec bruit par les fissures.

Les causses sont en somme des déserts pierreux, complètement privés d'eau, et elles seraient d'une stérilité absolue si une terre argileuse rougeâtre, remplissant certaines crevasses et s'étendant à quelque distance de leurs bords, ne maintenait une végétation suffisante pour le pacage des moutons. Plusieurs géologues attribuent à cette argile une origine éruptive ou hydrothermale ; elle est mélangée parfois de sables et de graviers quartzeux, voire même de kaolin.

C'est dans cette région que l'abbé Paramelle a fait ses premières études hydrologiques qui l'ont conduit à des résultats si remarquables. Elle est d'un aspect tout différent de celui des montagnes granitiques qui l'entourent, où de nombreuses sources arrosent les prairies et sur lesquelles s'étendent les *ségalas*, terrains propres à la culture du seigle.

M. de Saint-Clair a fait une observation curieuse qui témoigne une fois de plus des relations qui unissent le sol et la végétation. Le *Psoralea bituminosa*, légumineuse caractérisée par l'odeur de bitume qu'elle dégage, qui croît spontanément dans les régions méridionales, ne se trouve, dans le département du Lot, que sur les calcaires marneux et bitumineux du système oolithique. Cette plante puise le bitume dans le sous-sol et le représente sans altération dans les tissus extérieurs de ses tiges, de ses feuilles et des calices de ses fleurs.

744. Dauphiné. — Les étages supérieurs du système oolithique se présentent sur le versant occidental des Alpes avec des caractères minéralogiques uniformes, à peu près identiques à ceux du néocomien qui est à la base du crétacé.

Ce sont des calcaires en couches fortement inclinées, gris ou noirâtres à la partie inférieure, blancs ou jaunâtres au sommet, formant de grands massifs au milieu desquels les bancs marneux sont très rares et qui sont traversés souvent par des fissures et des cavernes dans lesquelles se perdent les eaux. Ces rochers arides sont impropres à la culture ; le seul parti à en tirer serait de les boiser, mais c'est une entreprise pleine de difficultés sous un soleil aussi ardent.

A cause de cette grande uniformité et de la présence de fossiles communs, Oppel avait proposé de réunir, sous le nom d'*étage tithonique*, toute la partie supérieure du jurassique avec la partie inférieure du néocomien. Cette dénomination est conservée, mais avec restriction, par plusieurs géologues qui comprennent dans le tithonique l'étage kimmeridgien, moins le calcaire à astartes, et l'étage portlandien.

Calcaires de la Porte de France. — Les calcaires du massif de la Porte de France à Grenoble sont depuis longtemps célèbres en géologie. Au commencement de ce siècle, on les considérait comme l'un des meilleurs types du *calcaire alpin ;* c'est Brongniart qui a reconnu le premier qu'ils appartiennent au terrain jurassique, mais leur véritable situation stratigraphique dans ce terrain est restée de longues années indécise.

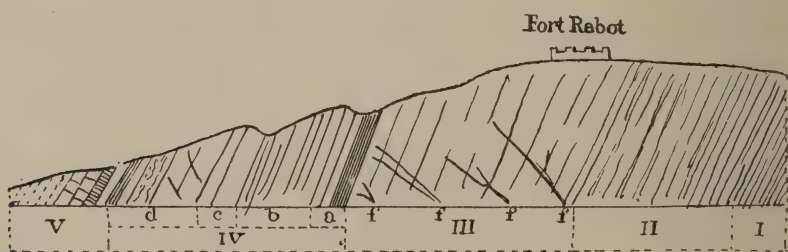


Fig. 403. — Coupe du massif de la Porte de France. — I, partie supérieure de l'oxfordien. — II, corallien. — III, séquanien ; *f,f,f,* veines de calcaire spathique. — IV, tithonique ; *a,* calcaire en lits minces avec *Aptychus* ; *b,* bancs à ammonites ; *c,* calcaire à térébratules trouées ; *d,* calcaire compact à pâte fine. — V, partie supérieure du portlandien.

D'après la coupe qu'en a donnée M. Lory (fig. 403), ce massif comprend d'abord à sa base (I) des calcaires argileux noirs, de 50 mètres d'épaisseur, en bancs minces séparés par des

feuillets marneux, avec empreintes d'ammonites, notamment d'*A. Martelli*, qui correspondent à la partie supérieure de l'*oxfordien ;* puis des calcaires de même aspect et de même puissance, mais très pauvres en fossiles (II), que l'on assimile au *corallien* et dont quelques bancs de la partie inférieure sont propres à la fabrication de la chaux hydraulique.

Vient ensuite la grande masse des calcaires compacts (III), en gros bancs, qui ont fourni la plupart des pierres de taille pour les constructions de la ville de Grenoble et de ses remparts. Ces calcaires, dont l'épaisseur est de 200 mètres, sont d'un brun foncé dû à des matières charbonneuses et bitumineuses ; par l'exposition à l'air, ils deviennent, à la surface, d'un gris cendré ; ils donnent, par la cuisson, de la chaux grasse très blanche. Ils sont traversés, à peu près perpendiculairement à la stratification, par des veines de calcaire spathique, d'un blanc laiteux, qui prennent quelquefois l'importance et la régularité de véritables filons. Sur certains points, ces filons sont renflés jusqu'à une épaisseur de 1 mètre à $1^{m}50$ et ils ont empâté de nombreux fragments anguleux de la roche encaissante ; il en résulte des brèches noires et blanches qui ont été exploitées comme marbres d'un assez bel effet. Quelques veines, d'une structure souvent fibreuse, suivent les joints des couches et présentent des miroirs, des stries, qui témoignent du glissement des bancs les uns sur les autres, pendant et après la formation de ces veines.

On ne trouve guère dans toute cette masse d'autres fossiles que des fragments insignifiants de bélemnites et d'ammonites. Cependant, il n'y a pas de doute sur son assimilation au *séquanien.*

Dans les bancs suivants (IV), qui ont le même aspect lithologique et que l'on peut étudier à la carrière *extra-muros*, se montre une faune très différente ; vers le milieu de la masse, les térébratules trouées (*T. janitor*) deviennent abondantes ; on y trouve en outre des ammonites et des *Aptychus.* L'épaisseur de cette assise, qui appartient au *tithonique*, est de près de 100 mètres.

Après ces derniers calcaires compacts, on voit un changement brusque dans l'aspect et la nature des roches ; on passe

à une assise de calcaires argileux tendres (V), d'un noir bleuâtre, bitumineux, parmi lesquels se rencontrent les couches exploitées pour la fabrication du ciment de la Porte de France, remarquables par leur homogénéité et la finesse de leur grain. Cette assise, qui renferme les fossiles caractéristiques de la partie supérieure du *portlandien* dans le midi de la France, est recouverte en stratification concordante par les marnes bleuâtres à bélemnites plates du *néocomien*.

Calcaires à ciment et à chaux hydraulique. — La carrière ouverte dans l'assise V de la coupe ci-dessus est le point de départ de l'industrie des ciments, actuellement si florissante à Grenoble et dans ses environs. Voici le détail des bancs qui s'y rencontrent :

8.	Calcaires tenant 10 à 12 p. 100 d'argile, massif confus	10m00
7.	Couches à chaux hydraulique (12 à 14 p. 100 d'argile)....	2 60
6.	Grande couche à ciment (24 p. 100 d'argile en moyenne)..	4 00
5.	Calcaire à 21 p. 100 d'argile environ.....	1 60
4.	Deuxième petite couche à ciment.....	1 25
3.	Calcaire à chaux limite (21 p. 100 d'argile).....	0 80
2.	Première petite couche à ciment.....	1 40
1.	Quatre bancs tenant environ 10 p. 100 d'argile, ensemble.	1 40

Le prolongement de ces couches a été retrouvé sur un grand nombre de points ; il existe également des bancs propres à donner de la chaux hydraulique et du ciment à d'autres niveaux géologiques, dans le lias, l'oxfordien et le terrain crétacé.

Grâce aux travaux de Vicat, Grenoble peut être considérée comme la patrie du ciment. On y voit partout des usines qui le fabriquent et des chantiers qui l'emploient. Les produits que l'on obtient sont de deux sortes : les *ciments prompts*, qui font prise en moins de 20 minutes, et les *ciments lents*, faisant prise en une ou plusieurs heures. On fait aussi du ciment artificiel en mélangeant des calcaires contenant 10 p. 100 d'argile avec d'autres qui en renferment 25 à 35 p. 100. La production totale annuelle de l'arrondissement de Grenoble en ciments est de 175 000 tonnes.

Calcaires de l'Échaillon. — A une vingtaine de kilomètres au nord-ouest de Grenoble, on trouve une masse compacte de 200 mètres de puissance de calcaires pétris de nérinées, qui

est intercalée entre le calcaire séquanien à *Ammonites tenuilobatus* et le néocomien.

C'est à cette masse qu'appartiennent les calcaires exploités activement au lieu dit le Bec de l'Échaillon, dans un escarpement qui borde l'Isère, et qui sont composés presque entièrement de polypiers et autres fossiles brisés et triturés. Ils forment là une sorte de récif dont le faciès coralligène est nettement accusé ; leur épaisseur est de 30 mètres environ et la stratification y est peu distincte.

Les carrières, qui sont situées à 100 mètres d'élévation au-dessus de la route, sont desservies par un plan incliné de 90 mètres de hauteur. Le calcaire étant homogène et presque sans délit, peut être extrait en monolithes de dimensions déterminées, que l'on circonscrit par des entailles et que l'on détache avec des coins ; la poudre et la dynamite ne sont employées qu'avec beaucoup de ménagements.

La pierre de l'Échaillon est assez dure, très fine, demi-cristalline, propre à la sculpture ; elle se taille facilement au tour et au rabot. On en distingue deux variétés : l'*Échaillon blanc* et l'*Échaillon rose*. Elle pèse 2.450 à 2.530 kilogrammes le mètre cube et résiste à des charges de 560 à 780 kilogrammes par centimètre carré. Elle est d'un prix élevé, car elle se vend sur place de 100 à 150 fr. le mètre cube, et même davantage.

Cette belle pierre s'exporte jusqu'en Amérique. On l'a employée à Paris pour les groupes de la façade du nouvel Opéra, pour le grand escalier du tribunal de commerce, pour les bassins des Champs-Élysées et de la place Médicis ; à Lyon, pour la nouvelle église de Fourvières. La variété rose, beaucoup plus rare que la blanche, est réservée pour l'ornementation.

745. Languedoc. — Les affleurements jurassiques de la lisière orientale du Plateau Central s'annoncent près de Valence par une montagne calcaire située sur la rive droite du Rhône et dont les escarpements attirent l'attention des voyageurs. C'est la montagne de Crussol, surmontée par les ruines d'un vieux château, qui montre, sur ses pentes dénudées, des roches calcaires d'une couleur blanc jaunâtre contrastant avec celle des roches granitiques (fig. 404).

En raison de son altitude, qui est de 380 mètres, cette montagne se prête très bien à l'étude. Le terrain jurassique, qui repose sur le granite, commence par des grès et des calcaires magnésiens avec les fossiles caractéristiques du lias.

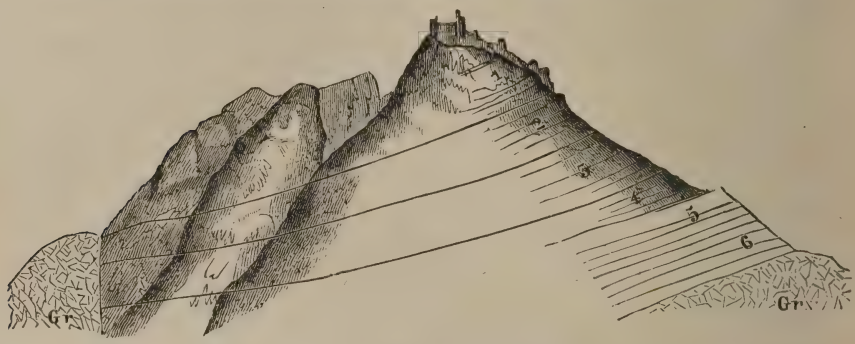


Fig. 404. — Coupe de la montagne de Crussol, vue en aval de Valence (d'après M. Lory). — 1, séquanien et corallien ; 2, calcaires marneux oxfordiens ; 3, marnes oxfordiennes ; 4, schistes bathoniens à posidonies ; 5, bathonien et bajocien ; 6, lias ; Gr., Granite.

Au-dessus, des alternances de calcaires siliceux et de marnes ferrugineuses avec ammonites et térébratules représentent le sous-système oolithique inférieur, qui se termine par des schistes noirs à posidonies d'une assez grande épaisseur.

Tout le reste de la montagne appartient à l'oolithe moyenne. Ce sont d'abord des marnes, puis des calcaires marneux, qui représentent l'étage oxfordien. Ces calcaires sont utilisés pour la fabrication du ciment.

Viennent ensuite des calcaires puissants, avec de minces lits de marnes calcaires, blancs ou grisâtres, qui s'étendent jusqu'au sommet de la montagne, et qui ne présentent sur toute cette hauteur, de plus de 80 mètres, aucun caractère stratigraphique permettant de les diviser en zones. Pour parvenir à cette division, il faut avoir recours aux fossiles, et c'est ainsi que M. Huguenin distingue les zones à *Ammonites bimammatus*, à *A. platynotus* et à *A. tenuilobatus*. Les deux premières zones font partie du corallien ; la dernière, du séquanien, base du kimmeridgien. Celle-ci est enfin couronnée par les calcaires qui supportent le château et où l'on ne trouve que des fragments d'ammonites indéterminables.

Les calcaires à *A. tenuilobatus* sont très fossilifères ; on y rencontre à divers niveaux des *Aptychus* pyritisés d'une belle couleur bronzée. Ils sont activement exploités pour la construction et fournissent une pierre compacte, noduleuse, à grain très fin, très dure, blanc grisâtre ou bleuâtre, susceptible de poli ; un des bancs est tellement dur que les ouvriers lui donnent le nom de *calcaire-fer*. Cette pierre, dont on fait un grand usage dans les travaux publics et dans les monuments de Lyon, Valence, Avignon, pèse plus de 2.600 kilogrammes le mètre cube et a une force portante variant de 850 à 1.000 kilogrammes par centimètre carré.

Pour observer la suite de la série jurassique, il faut se transporter à quelques kilomètres au sud de Crussol, à Berrias, près des Vans (Ardèche). Ce point est d'un très grand intérêt géologique, parce que le tithonique s'y montre bien avec ses caractères de transition. Au-dessus de la zone à *Ammonites tenuilobatus*, on voit d'abord un calcaire blanc compact, d'aspect ruiniforme, peu fossilifère, parcouru de grottes et de crevasses nombreuses, puis un calcaire marneux gris clair, à *Aptychus* et à *Terebratula janitor*, avec quelques bancs de calcaire bréchiforme et caverneux Ensuite vient le *calcaire de Berrias* proprement dit, d'au moins 50 mètres d'épaisseur, compact, de couleur gris clair ou jaune rosé, renfermant des bélemnites plates et des ammonites qui présentent d'étroites affinités avec les formes du crétacé inférieur. Ce calcaire paraît correspondre au purbeckien ; car là où il manque celui-ci apparaît, et réciproquement. Aussi il y a plus de raisons d'attribuer le calcaire de Berrias au jurassique qu'au crétacé.

746. Couches de Purbeck en Angleterre. — Les terrains oolithiques de l'Angleterre diffèrent à peine par leur composition minéralogique de ceux du bassin de Paris. On trouve cependant, tout à fait à leur partie supérieure, dans le Dorsetshire, une formation spéciale, d'une cinquantaine de mètres d'épaisseur, connue sous le nom de *Purbeck beds*, ou couches de Purbeck, qui se présente avec des caractères distincts de ceux que possèdent sur le continent les assises du même âge.

Abstraction faite de quelques bancs calcaires d'origine ma-

rine, les couches de Purbeck sont une formation d'eau douce. Elles consistent en calcaires argileux gris et en marnes à *Paludina*, *Planorbis*, *Cyclas*, *Cyrena*, *Cypris*, etc. L'un des bancs supérieurs fournit un marbre dont on a fait usage dans l'architecture des vieilles cathédrales du sud de l'Angleterre. Çà et là, surtout à la partie inférieure, il y a des intercalations de terre végétale brun sombre ou noire, ou *dirt beds*[1], qui renferment de nombreux restes de conifères et de cycadées, dont les troncs, souvent encore droits, ont leurs racines enfoncées dans le sol sous-jacent (fig. 405) ; les troncs brisés sont disposés horizontalement entre ceux qui sont restés en place. A Lulworth-Cove, où le *dirt bed* a été relevé avec les couches encaissantes et fait actuellement un angle de 45 degrés avec l'horizontale, les troncs debout sont restés perpendiculaires à la stratification ; c'est un des exemples les plus remarquables de changement de position que l'on puisse citer.

Fig. 405. — Restes d'une forêt en place à Purbeck. — A, calcaire marin formant l'ancien sous-sol de la forêt; B, ancien sol végétal, avec racines d'arbres; C, dépôt lacustre postérieur à la destruction de la forêt.

C'est vers le milieu du purbeckien que l'on rencontre cette couche mince, de 12 centimètres seulement, qui a acquis une si grande importance paléontologique à cause des débris de mammifères qu'elle a fournis ; ce sont principalement de maxillaires inférieurs de marsupiaux. Dans un espace de 457 mètres carrés, on a découvert jusqu'à 8 ou 9 genres et 14 espèces de ces marsupiaux ; ce qui permet de conclure avec Lyell qu'ils vivaient ensemble dans la même région et que, suivant toute probabilité, ils ne représentent qu'une fraction de la faune de mammifères qui habitait ces terres lorsqu'elles étaient émergées et baignées par des cours d'eau qui entraînaient leurs débris.

Dans le Hanovre, existe une formation analogue qui indique que ce pays a subi aussi à la fin de la période oolithique un soulèvement, interrompu par de fréquentes oscillations, à la suite duquel il est passé à l'état de côtes unies.

1. Lits de boue.

CHAPITRE XIX

PÉRIODE CRÉTACÉE

§ I. Caractères de la période crétacée. — § II. Système crétacé dans la région orientale du bassin de Paris. — § III. Système crétacé dans les régions septentrionale et occidentale du bassin de Paris. — § IV. Système crétacé dans les Charentes et le Périgord. — § V. Système crétacé en Provence. — § VI. Types divers du système crétacé.

§ I.

CARACTÈRES DE LA PÉRIODE CRÉTACÉE.

747. Conditions physiques. — Le *système crétacé* a été ainsi nommé par d'Omalius d'Halloy parce que, en France et en Angleterre où on l'a d'abord reconnu et étudié, la craie blanche (*creta* en latin) est un de ses éléments caractéristiques ; mais il s'en faut qu'il ait partout la même composition pétrographique, et les caractères paléontologiques permettent seuls d'assimiler les couches si variées qui le constituent en différents pays.

On peut diviser la période crétacée en deux sous-périodes. Pendant la première, le mouvement général d'émersion du sol de toute l'Europe septentrionale, qui avait été si marqué dans la période précédente, continue à s'accentuer ; puis, par suite d'un affaissement, la mer fait une invasion subite sur les contrées d'où elle s'était progressivement retirée et il en résulte que les sédiments de la seconde sous-période reposent en stratification transgressive non seulement sur ceux de la première, mais encore sur des couches plus anciennes.

La formation des roches du système crétacé a continué à s'opérer comme précédemment dans des conditions de calme relatif. Nous en trouvons la preuve dans les grandes masses de craie, composées en partie d'enveloppes microscopiques de foraminifères, qui se sont accumulées lentement au fond des mers sans apport des rivages, ainsi que dans les bancs de calcaire à *rudistes* dus également à l'activité organique.

Dans la plupart des régions qu'elles occupent, les couches crétacées sont restées à peu près dans leur position primitive et n'ont généralement qu'une faible inclinaison. Ce n'est que dans les grands massifs montagneux, comme les Alpes, les Carpathes, les Pyrénées, ou dans leur voisinage, que ces couches sont plissées ou brisées par de grands bouleversements postérieurs à leur formation.

La température était encore assez élevée dans les régions circumpolaires, ainsi qu'en témoigne la présence des figuiers et autres plantes qui habitent actuellement les pays chauds. Il faut observer cependant que le palmier, apparu dès le début de la période, ne franchit pas l'Europe, et que les polypiers reculent progressivement vers le sud. On doit en conclure que, si les zones climatériques ne se dessinaient pas franchement à la surface du globe, la zone tropicale qui régnait jusqu'alors sur toute cette surface tendait déjà à se réduire.

748. Faune crétacée. — *Vertébrés.* — Les vertébrés semblent rétrograder avec la période crétacée, car on ne trouve même plus les mammifères inférieurs des temps jurassiques. Il ne faudrait cependant pas attacher une trop grande importance à ce fait négatif, qui peut tenir à une insuffisance d'exploration. Si l'on se rappelle que sur un espace très restreint les couches de Purbeck ont fourni un grand nombre de marsupiaux d'espèces différentes (n° 746), rien ne dit qu'un jour on ne mettra pas la main sur une accumulation analogue dans les terrains crétacés.

Les oiseaux ont été signalés dans la seconde partie du crétacé. On en a trouvé en Amérique de très curieux, qui avaient des vertèbres biconcaves et des dents, indiquant encore des affinités reptiliennes.

Les reptiles deviennent plus rares que dans le jurassique, qui a été l'époque de leur épanouissement. En dehors des crocodiles et de quelques représentants attardés des plésiosaures, des ichthyosaures et des ptérodactyles, cette classe nous offre cependant de nouveaux genres de sauriens, dont quelques-uns de taille gigantesque comme l'*Iguanodon* et le *Mosasaurus*.

L'*Iguanodon*, saurien à dents d'iguane, était un animal de 10 à 12 mètres de longueur, muni de robustes pattes de derrière qui lui permettaient de se tenir debout et d'une queue gigantesque sur laquelle il pouvait s'appuyer. Il se nourrissait des feuilles des arbres à l'aide de dents triangulaires, plissées sur les côtés et qui s'usaient à l'extrémité comme chez les herbivores (fig. 406).

Fig. 406. — Dent d'*Iguanodon Mantelli*.

Ce reptile singulier régnait en maître dans les forêts du début du crétacé. On en a trouvé un véritable troupeau dans une crevasse du terrain houiller de Bernissart (Belgique) au milieu d'une argile noire wealdienne. Non seulement les os étaient conservés, mais des tendons ossifiés y adhéraient encore ; c'est un fait analogue à celui qui a été signalé dans quelques squelettes de sauriens et des bélemnites de Lyme-Regis en Angleterre (n° 714). On a pu, à l'aide de ces débris, reconstituer plusieurs squelettes complets d'iguanodon ; seulement les os étaient parfois dans un tel état de friabilité qu'il a fallu les mouler avec du plâtre ; on a songé aussi à employer, pour les extraire, le procédé si ingénieux imaginé récemment par M. Pœtsch pour le fonçage des puits dans les terrains ébouleux et qui consiste à durcir ceux-ci par la congélation.

Le mosasaure, ou *saurien de la Meuse*, a été trouvé pour la première fois dans les grandes carrières souterraines de Saint-Pierre, à Maestricht. Il se rapproche encore plus nettement des lézards que le mégalosaure (n° 716) par ses dents soudées à la mâchoire, coniques, plissées et un peu recourbées. La tête est la seule partie de son squelette que l'on possède à l'état complet ; elle a 1m,30 de longueur.

Les dents et les écailles de poissons abondent dans certaines

couches, surtout de la craie. On remarque que tandis que les poissons ganoïdes sont en pleine décadence, les poissons osseux à écailles analogues à ceux de nos jours (brochet, saumon, etc.) se montrent déjà dans les mers crétacées.

Articulés. — Les crustacés offrent, dans les eaux marines, les premiers vrais crabes, et dans les eaux douces, de nombreux *Cypris*, très petits animaux dont le corps était enfermé dans une carapace bivalve, généralement ovoïde et munie d'une charnière dorsale.

Mollusques. — Les coquilles cloisonnées de la grande famille des ammonitides disparaissent avec la période crétacée, mais non sans jeter un dernier éclat. Leur extinction est précédée en effet d'une véritable transformation de leurs formes. Leurs tours se disjoignent complètement, en restant régulièrement enroulés comme chez les *Crioceras* (fig. 409), ou en se prolongeant en crosse comme chez les *Ancyloceras* (fig. 419); ou bien les premiers tours restent contigus et le dernier forme également une crosse, comme dans les *Scaphites* (fig. 430). D'autres fois la coquille devient rectiligne comme dans les *Baculites* (fig. 452), qui rappellent ainsi les orthocères depuis longtemps disparus ; elle s'arque fortement, comme chez les *Toxoceras* ; elle prend la forme d'une tige recourbée à une extrémité, les deux parties se rejoignant comme dans les *Ptychoceras* (fig. 423), ou d'une tige coudée à ses deux extrémités comme dans les *Hamites* (fig. 424). Les tours ne s'enroulent pas toujours dans le même plan comme dans les genres qui précèdent ; tel est le cas pour les *Turrilites* (fig. 422), coquilles d'un enroulement conique à tours contigus.

Les bélemnites ne survivent pas aux ammonites, ce qui permet de penser que les temps qui ont suivi immédiatement la période crétacée ont amené des conditions défavorables à l'existence des céphalopodes ; mais elles offrent encore d'assez nombreuses espèces dans cette période.

Les brachiopodes nous fournissent, avec d'abondantes rhynchonelles et térébratules, le genre *Crania* (fig. 444), à coquille sans charnière ni ligament, à valve supérieure conique, et qui se fixait aux corps sous-marins par sa valve inférieure. Citons encore le *Magas*, dont la valve ventrale est bombée, lisse, à contour circulaire ou ovale, et la valve dorsale aplatie.

Parmi les acéphales, il faut signaler les *Inoceramus* (fig. 427), presque exclusivement propres au terrain crétacé, dont la coquille inéquivalve est à crochets pointus et fortement recourbés ; diverses espèces de *Trigonia* et d'*Ostrea* ; les *Janira* (fig. 433), très voisins des peignes dont il ne diffèrent que par la valve inférieure très bombée et le groupement habituel des côtes en un petit nombre de faisceaux ; les *Spondylus* (fig. 445), à coquille composée de deux valves inégales qui sont généralement hérissées d'épines ; les *Chamacés*, les *Rudistes*.

La famille des chamacés, représentée dans la période oolithique par des dicérates, offre des genres nouveaux, notamment le *Caprina* et le *Requienia*. Le premier (fig. 439), qui se fixait aux roches par l'extrémité de sa valve inférieure, de forme conique, a une valve supérieure lisse, grande, convexe, à crochet latéral recourbé quelquefois en spirale. Le second genre (fig. 415), appelé aussi *Chama* ou *Caprotina*, a également une valve inférieure fixée, conique ou spirale ; sa valve supérieure est plus petite et à crochet latéral. Les *ichthyosarcolithes* ne sont autre chose que des moulages internes de coquilles de *Caprina*, figurant grossièrement la chair de poisson ; d'où leur vient leur nom [1].

La famille des rudistes, voisine de celle des chamacés, est tout à fait spéciale à la période crétacée. Ces acéphales, dont le nom rappelle l'organisation grossièrement lamelleuse du test de leurs coquilles, se divisent en trois genres principaux, les *Hippurites*, les *Radiolites* et les *Sphærulites*.

Les hippurites (fig. 440) ont une coquille rugueuse et irrégulière, composée d'une grande valve conique, droite ou arquée, fixée par son extrémité aux corps sous-marins et offrant à l'extérieur trois sillons longitudinaux sur un côté, et d'une valve supérieure de petites dimensions, à structure poreuse. Les radiolites (fig. 441) diffèrent des précédentes par l'absence du triple sillon longitudinal. Chez les sphérulites (fig. 443), la coquille est moins allongée et se compose de deux cônes appliqués l'un contre l'autre par leur base.

Zoophytes. — C'est dans la période crétacée que les oursins

1. Ἰχθυς, poisson ; σαρκος, chair ; λίθος, pierre.

atteignent leur apogée. Ils rendent de grands services aux géologues pour la détermination des étages, car chacun de ceux-ci se signale par des genres ou des espèces qui lui sont propres.

Les polypiers ont perdu beaucoup de leur importance et il s'en faut qu'ils soient aussi abondants que dans la période oolithique.

Mais les foraminifères jouent un rôle de premier ordre, surtout dans la craie.

719. Flore crétacée. — Dans la première sous-période crétacée, la végétation a des rapports intimes avec la flore jurassique ; ce sont, à part quelques genres nouveaux, les mêmes

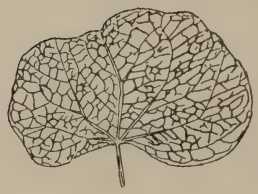


Fig. 407.
Hedera primordialis du cénomanien de Bohême (de Saporta).

Fig. 408.
Araucaria Toucasi du sénonien du Beausset (de Saporta).

genres de fougères, de conifères, de cycadées, connus déjà dans les étages inférieurs du lias. C'est seulement dans la seconde sous-période qu'apparaissent les premiers représentants certain des dicotylédones angiospermes et des monocotylédones, aussi bien en Amérique que dans l'ancien monde, par des feuilles de hêtre, de lierre (fig. 407), de châtaignier, de platane, en même temps que les fougères et les cycadées (fig. 408) deviennent de plus en plus rares. La végétation renaît d'ailleurs avec une ampleur qu'on ne lui connaissait pas depuis l'époque houillère.

Le milieu de la période crétacée correspond, comme on voit, à une modification importante dans la flore ; à partir de ce moment, les angiospermes acquièrent une importance de plus en plus grande et finissent par l'emporter sur toutes les autres plan-

tes. L'apparition successive des diverses formes végétales permet de partager la série sédimentaire en trois règnes, caractérisés par la prédominance de l'une des grandes divisions du règne végétal : le règne des acrogènes, qui se montre surtout dans la période carbonifère ; celui des gymnospermes, dans les périodes triasique, liasique, oolithique et la première sous-période crétacée ; celui des angiospermes, qui vient ensuite et se continue de nos jours. Le début de ce dernier règne coïncide avec les premiers indices du refroidissement polaire et de la décroissance de plus en plus prononcée de la température terrestre en raison directe de la latitude.

Le manque de coïncidence des coupures ainsi établies avec celles qui sont fondées sur la paléontologie animale met en évidence le caractère artificiel des divisions entre lesquelles on répartit l'histoire du globe, et montre une fois de plus qu'il faut admettre une transformation lente et continue des espèces pour leur adaptation aux nouvelles conditions du sol.

750. Division en étages. — Le système crétacé comprend sept étages qui se partagent ainsi entre les deux sous-systèmes :

Sous-système supérieur.	7. Danien. 6. Sénonien. 5. Turonien. 4. Cénomanien.
Sous-système inférieur.	3. Albien. 2. Aptien. 1. Néocomien.

L'*étage néocomien*, qui tire son nom de *Neocomum*, dénomination latine de la ville de Neufchâtel en Suisse, correspond à l'ancien grès vert inférieur, ou *lower green sand* des Anglais. Nous citerons parmi ses fossiles caractéristiques : *Crioceras Duvali* (fig. 409) ; des bélemnites plates et dilatées, comme *B. dilatatus* (fig. 410), *B. Emerici* (fig. 411), etc. ; *Exogyra (Ostrea) subplicata* (fig. 412) ; *Ostrea Couloni* (fig. 413), dont la forme est assez variable ; *Lima elegans* (fig. 414) ; *Requienia ammonia* (fig. 415) ; *Spatangus retusus* (fig. 416), oursin cordiforme auquel on donne aussi le nom d'*Holaster complanatus*.

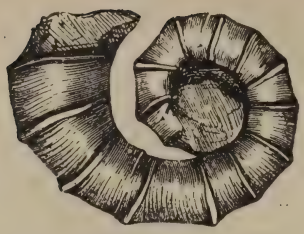


Fig. 409.
Crioceras Duvali.

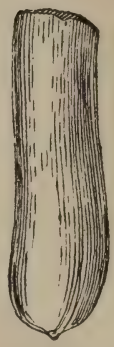


Fig. 410.
Belemnites dilatatus.

Fig. 411.
Belemnites Emerici.

Fig. 412.
Exogyra subplicata.

Fig. 414.
Lima elegans.

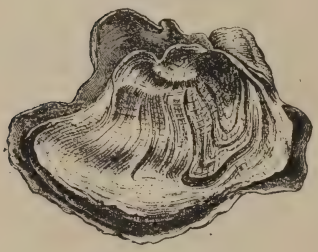


Fig. 413.
Ostrea Couloni.

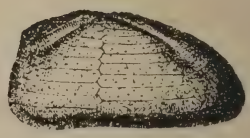


Fig. 415.
Requienia ammonia.

Fig. 416.
Spatangus retusus.

L'*étage aptien*, dont le nom dérive de celui de la ville d'Apt (Vaucluse) où il est bien représenté, renferme : *Ostrea aquila* (fig. 417), huître de grande taille, plus régulière que l'espèce néocomienne ; *Plicatula placunea* (fig. 418), souvent assez abondante dans les argiles aptiennes pour que Cornuel les ait désignées avec raison sous l'expression d'*argiles à plicatules ; Ancyloceras Matheroni* (fig. 419).

Fig. 417. — *Ostrea aquila.*

Fig. 418. — *Plicatula placunea.*

Fig. 419. — *Ancyloceras Matheroni.*

L'*étage albien*, qui correspond au *gault* des Anglais, est très développé dans le département de l'Aube, ce qui lui a fait donner son nom par d'Orbigny. Il est très riche en fossiles, parmi lesquels nous citerons les suivants : *Ammonites mamillaris* (fig. 420), à côtes mamelonnées ; *A. splendens* (fig. 421) ; *Turrilites catenatus* (fig. 422) ; *Ptychoceras gaultinus* (fig. 423) ; *Hamites attenuatus* (fig. 424) ; *Nucula pectinata* (fig. 425) ; *Inoceramus sulcatus* (fig. 426).

Fig. 420. — *Ammonites mamillaris.*

Fig. 421. — *Ammonites splendens.*

Fig. 422. — *Turrilites catenatus.*

Fig. 423.
Ptychoceras gaultinus.

Fig. 424.
Hamites attenuatus.

Fig. 426.
Inoceramus sulcatus.

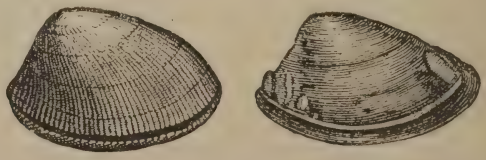


Fig. 425. — *Nucula pectinata* (coquille et moule).

Fig. 428.
Ammonites rotomagensis.

Fig. 429.
Turrilites costatus.

Fig. 430.
Scaphites æqualis.

Fig. 431.
Belemnites plenus.

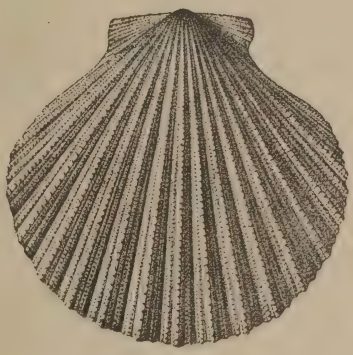


Fig. 432.
Pecten asper.

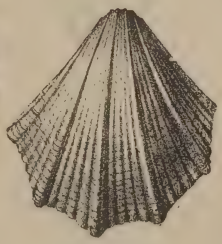


Fig. 433.
Janira quinquecostata.

Fig. 434. — *Ostrea columba.*

Fig. 435. — *Ostrea carinata.*

L'*étage cénomanien*, bien caractérisé dans les environs de la ville du Mans (*Cenomanum*), est souvent désigné dans le bassin de Paris sous le nom de *craie glauconieuse*, à cause de la présence de grains verts dans sa masse au Hâvre, à Honfleur, etc. C'est l'*upper green sand* ou grès vert supérieur des géologues anglais. Voici quels sont ses principaux fossiles : *Ammonites rotomagensis* (fig. 428), qui abonde dans la côte Sainte-Catherine, à Rouen ; *Turrilites costatus* (fig. 429) ; *Scaphites æqualis* (fig. 430) ; *Belemnites plenus* (fig. 431) ; *Pecten asper* (fig. 432) ; *Janira quinquecostata* (fig. 433) ; *Ostrea columba* (fig. 434) ; *Ostrea carinata* (fig. 435).

Fig. 436.
Inoceramus labiatus.

Fig. 437.
Terebratulina gracilis.

Fig. 438.
Rhynchonella Cuvieri.

Fig. 439.
Caprina adversa.
(Ichthyosarcolithe).

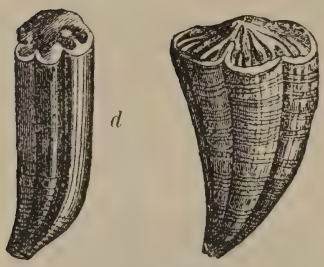


Fig. 440.
Hippurites organisans. — *d*, moule intérieur de la valve inférieure.

Fig. 441.
Radiolites lumbricalis.

Fig. 442.
Belemnites mucronatus.

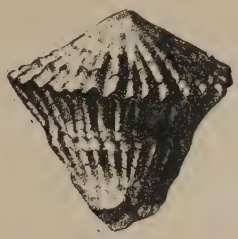
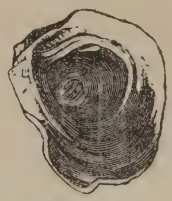


Fig. 443.
Sphærulites angeïodes.



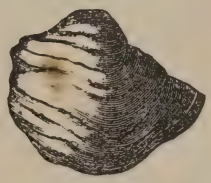


Fig. 446.
Ostrea vesicularis.

Fig. 444.
Crania parisiensis.

Fig. 445.
Spondylus spinosus.

Fig. 447.
Micraster coranguinum.

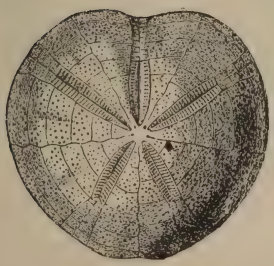


Fig. 448.
Micraster cortestudinarium.

Fig. 450.
Cyclolites ellipticus.

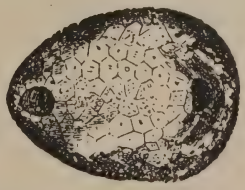


Fig 449. — *Ananchytes ovata.*

L'*étage turonien*, *craie de Touraine* ou *craie tuffeau*, est caractérisé par les fossiles suivants : *Inoceramus labiatus* (fig. 436) ; *Terebratulina gracilis* (fig. 437), fossile de très petites dimensions; *Rhynchonella Cuvieri* (fig. 438) ; *Caprina adversa* (fig. 439) ; *Hippurites organisans* (fig. 440) ; *Radiolites lumbricalis* (fig. 441).

L'*étage sénonien*, dont le nom dérive de la ville de Sens, l'antique *Senones*, est connu dans le bassin de Paris sous la dénomination de *craie blanche*. Les principaux fossiles de cet étage sont : *Belemnites mucronatus* (fig. 442) ; *Sphærulites angeïodes* (fig. 443) ; *Crania parisiensis* (fig. 444) ; *Spondylus spinosus* (fig. 445) ; *Ostrea vesicularis* (fig. 446) ; diverses sortes d'oursins, comme *Micraster coranguinum* (fig. 447), *Micraster cortestudinarium* (fig. 448), *Ananchytes ovata* (fig. 449) ; un polypier, *Cyclolites ellipticus* (fig. 450).

Le dernier étage crétacé, ou *étage danien*, est bien représenté dans l'île de Seeland en Danemark. Les fossiles qui le caractérisent sont : *Nautilus danicus* (fig. 451) ; *Baculites anceps* (fig. 452) ; *Lima Carolina* (fig. 453).

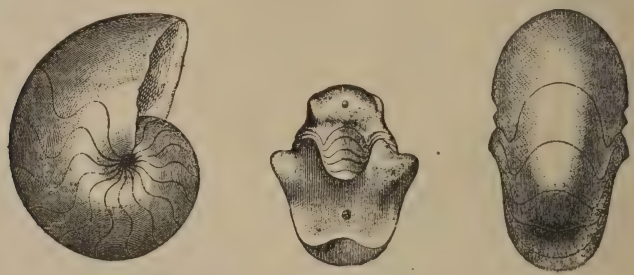


Fig. 451. — *Nautilus danicus.*

Fig. 452. — *Baculites anceps.*

Fig. 453. — *Lima Carolina.*

751. Répartition géographique du crétacé. — Le terrain crétacé est très répandu, particulièrement en Europe,

mais il ne se montre pas partout avec les mêmes caractères. On peut rattacher à deux faciès les diverses formes qu'il peut présenter : l'un, qui est caractérisé par la craie proprement dite, est propre au nord de l'Europe, et apparaît en France dans le bassin de Paris, d'où il se prolonge d'une part en Angleterre, de l'autre en Belgique, en Allemagne, dans le Danemark et la Russie ; l'autre faciès, qui se montre dans l'ouest et le midi de la France et plus généralement dans toutes les régions qui entourent la Méditerranée et ses dépendances, a pour principal trait distinctif l'abondance des rudistes, qui n'existent qu'exceptionnellement et à l'état d'individus mal développés dans le crétacé septentrional. Au point de vue paléontologique, on peut encore remarquer que le crétacé du midi se signale par une assez grande quantité de coraux et de gastéropodes qui lui sont spéciaux, tandis que celui du nord possède beaucoup d'ammonites et de bélemnites de formes variées.

La même division se retrouve en Amérique, où le système crétacé du Texas a le faciès méridional, et celui du New-Jersey et des sources du Mississipi le faciès septentrional.

Tandis que le terrain jurassique occupe encore en Europe des territoires étendus, il n'en est plus de même du crétacé, dont les bassins sont séparés par des plateaux jurassiques ; d'où il faut conclure que dans cette région il y a eu un grand accroissement du continent aux dépens de l'océan crétacé, qui s'est partagé en détroits et en golfes nombreux.

§ II.

SYSTÈME CRÉTACÉ DANS LA RÉGION ORIENTALE DU BASSIN DE PARIS.

752. Étage néocomien. — Les diverses assises du terrain crétacé continuent à dessiner, après celles des terrains

jurassiques, des zones d'affleurement de forme curviligne sur la bordure orientale du bassin de Paris. L'étage néocomien, bien développé dans les départements de la Meuse, de la Haute-Marne, de l'Aube, où il atteint 100 mètres de puissance, repose directement sur le portlandien, dont la partie supérieure, souvent durcie, perforée par des pholades d'âge néocomien, témoigne qu'il y a eu un arrêt dans la sédimentation et qu'à la fin de la période oolithique cette partie du sol français s'est trouvée momentanément émergée. C'est dans cet intervalle de temps que se sont déposées ailleurs les couches purbeckiennes.

On peut diviser le néocomien en quatre assises :

4. Argiles et sables bigarrés.
3. Argile ostréenne.
2. Calcaire à spatangues.
1. Marnes et sables.

La première assise débute par des marnes noirâtres qui ravinent le calcaire portlandien, mais qui n'existent pas partout. Dans le département de la Meuse, ces marnes renferment du minerai de fer géodique, en concrétions généralement creuses et cloisonnées, qui pendant longtemps a alimenté les hauts-fourneaux des arrondissements de Bar-le-Duc et de Commercy ; on l'exploitait par travaux souterrains à Ancerville.

Les sables qui viennent ensuite sont tantôt purs, tantôt ferrugineux, parfois agglutinés en grès. On y trouve en certains points, notamment à Wassy, un minerai activement exploité autrefois.

Le *calcaire à spatangues* est ordinairement gris jaunâtre, assez impur et à texture compacte ou subcompacte. Il est généralement propre à la fabrication de la chaux hydraulique et fournit des moellons qui, s'ils sont peu agréables à l'œil, ont l'avantage de résister parfaitement à la gelée. Les fossiles y sont nombreux (*Spatangus retusus*, *Ostrea Couloni*, etc.).

L'*argile ostréenne* consiste en une argile gris clair ou gris foncé, dans laquelle sont intercalés des lits minces de calcaire marneux coquillier et des plaquettes de lumachelle. Son principal fossile est une huître de grande taille appelée *Ostrea Leymeriei*.

L'assise supérieure comprend des sables et des argiles qui se distinguent par leurs couleurs vives, rouge, amarante, jaune, vert, disposées en taches et en veines sur un fond plus clair. Les argiles les plus pures sont exploitées comme terre réfractaire, notamment à Villy-en-Trode (Aube). Vers le haut de l'assise apparaissent des sables ferrugineux, jaunes, rouges ou versicolores, et des sables blancs ; puis, dans plusieurs localités (Wassy, Bailly-aux-Forges, Vandeuvre), une couche de $0^m,60$ à $1^m,40$ de minerai de fer oolithique qui a puissamment contribué au développement de la métallurgie dans la Haute-Marne. Cette assise est peu fossilifère.

L'étage néocomien s'amincit progressivement en passant du département de la Haute-Marne dans celui de la Meuse. Au-delà, on n'en observe plus aucun affleurement vers le nord.

753. Étage aptien. — L'aptien n'a qu'une faible importance sur la bordure orientale du bassin de Paris. Il consiste surtout en une argile, d'une douzaine de mètres d'épaisseur au maximum, caractérisée par l'abondance des plicatules et par l'*Ostrea aquila*, l'*Ancyloceras Matheroni*, etc. Au-dessus se trouvent quelques mètres de sables et grès jaunâtres.

Dans les Ardennes, l'argile aptienne renferme du minerai de fer en grains, surtout aux environs de Grandpré. Les sables s'y développent à ses dépens et forment, en s'agglutinant par un ciment calcaire spathique, un grès à aspect miroitant auquel on donne le nom de *cray*. C'est à cet étage qu'appartiennent les *cendres pyriteuses* noires exploitées pour l'agriculture dans les environs d'Aubenton.

754. Étage albien. — L'albien des Ardennes et de la Meuse comprend trois assises :

3. Gaize.
2. Argile du gault.
1. Sables verts.

Les *sables verts* sont des sables à grains de quartz, plus ou moins argileux, qui doivent leur coloration à la glauconie et

dont le fossile caractéristique est l'*Ammonites mamillaris*. Ils n'ont que quelques mètres d'épaisseur et renferment un lit de nodules phosphatés d'une grande continuité. Quand ils contiennent une proportion convenable d'argile, ces sables conviennent au moulage de la fonte. Ils perdent parfois leur coloration verte caractéristique et deviennent jaunes, par suite de l'altération de la glauconie qui se change en argile et oxyde de fer hydraté.

Ce sont ces sables qui, grâce à la continuité de leurs affleurements depuis les Ardennes jusque dans la Nièvre et à leur position sous une couche argileuse entièrement imperméable, constituent cet abondant réservoir d'eau qui a été atteint par plusieurs puits artésiens dans le bassin de Paris.

Le *gault*, ou zone à *Ammonites lautus,* est une argile téguline, généralement gris pâle ou jaunâtre, dont l'épaisseur atteint 25 mètres dans l'arrondissement de Bar-le-Duc, mais diminue progressivement à mesure qu'on se dirige vers le nord. Cette argile est souvent entremêlée de couches de sable et de grès glauconieux plus ou moins dur. On y trouve aussi des nodules phosphatés, avec beaucoup moins de régularité toutefois que dans la zone précédente.

Le gault réuni aux sables verts constitue cette région peu ondulée, couverte de prairies et de forêts, traversée par des cours d'eau nombreux, mais variables dans leur régime comme tous ceux des contrées imperméables, à laquelle on a donné le nom de *Champagne humide*, par opposition à celui de la Champagne proprement dite, ou *Champagne sèche*, qui repose sur la craie. La Champagne humide comprend les environs de Chaource et de Brienne dans l'Aube, le *Vallage* de Wassy (Haute-Marne), le *Perthois* et le *Bocage champenois* des environs de Vitry-le-François (Marne).

La *gaize* est une roche tendre, essentiellement siliceuse et renfermant une certaine proportion de silice à l'état gélatineux, qui constitue un massif montagneux couvert presque entierement de forêts, auquel s'applique le nom d'*Argonne*. Ce massif affecte des formes abruptes ; il est coupé par des vallées étroites et par des ravins quelquefois si nombreux que le plateau ne montre plus qu'une série de crêtes aigues. Quand les ravins

sont moins rapprochés, le sommet des collines s'arrondit en forme de dôme par suite de la faible résistance de la roche.

La gaize de l'Argonne ne se trouve pas partout. C'est en effet un dépôt lenticulaire intercalé entre le gault et le cénomanien, dont la puissance maximum est de 105 mètres à Autry (Ardennes) et qui se termine en biseau au nord près d'Attigny (Ardennes) de même qu'au sud vers Vroïl (Marne). On y trouve, comme dans les sables verts, une couche de nodules de chaux phosphatée. La gaize est caractérisée par *Ammonites inflatus*, *A. falcatus* ; elle possède du reste beaucoup de fossiles identiques à ceux du gault. Vers sa partie supérieure se montrent en plusieurs points de nombreux polypiers, composés d'une matière plus siliceuse que la masse et que l'on peut ramasser au pied des escarpements.

755. Nodules phosphatés de l'albien. — Les nodules de phosphate des sables verts sont depuis longtemps connus dans les Ardennes et la Meuse, où on les désigne vulgairement sous le nom de *coquins*. L'aspect sous lequel ils se présentent le plus habituellement est celui de rognons arrondis, lisses ou mamelonnés, dont la grosseur varie de celle d'une noix à celle du poing ; ils sont compacts, grisâtres ou brun verdâtre à la surface, brun foncé ou noirâtres à l'intérieur, et ils offrent souvent à la cassure des reflets violacés métalliques. Ils sont rarement homogènes, presque toujours pénétrés, surtout à la périphérie, par de gros grains de quartz ou de la glauconie ; parfois ils sont traversés par des veinules ou des cristaux de pyrite ou de gypse, plus rarement de galène. Tantôt, et c'est le cas le plus fréquent, ils sont isolés dans le sable ; tantôt ils sont soudés plus ou moins solidement et forment une sorte de conglomérat ; dans les environs de Vaubecourt (Meuse), le phosphate de chaux constitue même une masse continue, à contours irréguliers, dans les vides de laquelle pénètre un sable vert argileux très foncé qui, par la dessiccation, acquiert une assez grande dureté.

En un grand nombre de points, les nodules sont accompagnés par des coquillages parfaitement nets et qui offrent des reflets irisés et nacrés. On trouve aussi des fragments de bois

avec sillons de tarets, des fruits de conifères, des dents de squale, des crustacés, des fragments d'os de poissons ou de sauriens, etc. Ces fossiles, qui ont la même composition chimique que les nodules, sont libres ou empâtés par ceux-ci.

L'épaisseur de la couche de nodules des sables verts est assez variable. Elle descend rarement au-dessous de 5 centimètres et ne s'élève guère au-dessus de 18 ; la moyenne peut être estimée à 12 centimètres.

La couche de nodules de la gaize, quoique moins explorée que la précédente, paraît être assez régulière. Elle se trouve à la base du massif ; son épaisseur varie de 5 à 25 centimètres, mais la moyenne semble être seulement de 10 centimètres. Ces nodules sont plus homogènes que ceux des sables verts ; quelquefois cependant, quand on les casse, on remarque au centre une matière blanche, qui n'est autre chose que de la gaize englobée par le phosphate de chaux. Ils sont presque toujours à surface lisse, de couleur vert foncé ou noirâtre.

Les nodules de ces deux gisements ont une densité moyenne de 2,70. Le poids du mètre cube, après nettoyage aussi complet que possible, oscille entre 1.350 et 1.600 kilogrammes ; ceux de la gaize sont les plus lourds. Leur friabilité se modifie notablement par l'exposition à l'air ; au bout de quelques mois, ils se désagrègent avec une plus grande facilité que quand ils sortent de la carrière. La même propriété se constate aussi dans les nodules fraîchement extraits provenant d'une faible profondeur et qui ont été par conséquent soumis aux influences atmosphériques. On peut expliquer ce phénomène par la décomposition de la matière organique qui entre dans leur constitution.

Les nodules sont formés essentiellement par du phosphate de chaux, du sable quartzeux, de la glauconie, de l'argile, un peu de carbonate de chaux, de l'oxyde de fer et une matière organique. Cette dernière matière est azotée et une partie de l'azote est à l'état de combinaison ammoniacale ; c'est une circonstance qui ne doit pas être négligée dans l'évaluation de la valeur agricole des phosphates. Il faut aussi tenir compte de la potasse contenue dans la glauconie ; car, quoique cette matière fertilisante soit engagée dans une combinaison silicatée, celle-

ci est assez facilement décomposable pour que son action sur la végétation soit sensible.

Quant à la teneur en acide phosphorique, elle présente de très grands écarts ; elle varie non seulement d'une localité à l'autre, mais encore d'un point à l'autre de la même carrière. Dans la couche des sables verts, elle peut descendre jusqu'à 4 pour 100 et s'élever au delà de 23 pour 100 ; les nodules de la gaize, qui sont plus riches, renferment de 18 à 31 pour 100. On peut admettre que la teneur moyenne des nodules des sables verts est de 17 pour 100 d'acide phosphorique correspondant à 37 de phosphate de chaux tribasique, et celle des nodules de la gaize de 25 pour 100 d'acide phosphorique, soit 55 de phosphate.

L'exploitation de ces nodules a pris une très grande importance, depuis une vingtaine d'années surtout, et elle s'étend d'une manière à peu près continue sur les affleurements des sables verts.

L'extraction se fait tantôt à ciel ouvert, tantôt par petits puits. On sépare les nodules de la plus grande partie du sable adhérent en les jetant sur une claie ou sur un treillis en fil de fer, dont les mailles ont de 8 à 12 millimètres d'écartement. On achève le nettoyage par un lavage à l'eau courante.

Cette dernière opération présente de graves inconvénients pour les cours d'eau dans lesquels elle fonctionne et pour les propriétés riveraines en aval des lavoirs. Les boues entraînées par les eaux se déposent en effet sur les œufs de poisson, qu'elles empêchent d'éclore ; elles élèvent le lit des rivières et, dans les débordements, envasent les prairies. Aussi l'Administration interdit ordinairement le lavage du 15 avril au 15 octobre de chaque année et impose l'obligation de construire de vastes bassins d'épuration, dans lesquels circulent les eaux boueuses avant d'être rendues à leur cours naturel. Lorsqu'on le peut, on profite des dépressions marécageuses qui bordent souvent les cours d'eau, de manière à en relever le fond à l'aide de ces dépôts qui, renfermant du phosphate, arrivent à les transformer en terrains de bonne qualité.

Quant le lavage n'est pas praticable, on le remplace par plusieurs passages à la claie, effectués chacun après une exposi-

tion à l'air qui a pour but de sécher les sables argileux et de les rendre plus faciles à détacher par le choc. Mais cette opération, qui porte le nom de *fanage*, ne nettoye pas aussi complètement les nodules.

Il ne reste plus qu'à pulvériser ces matières avant de les livrer à l'agriculture. On se sert pour cela de meules analogues à celles qui servent à moudre le blé ou le ciment.

L'extraction des phosphates de chaux dans les départements de la Meuse et des Ardennes s'est élevée en 1886 à 76.600 tonnes, représentant sur place une valeur de 2.200.000 francs après pulvérisation.

756. Etage cénomanien. — L'étage cénomanien commence généralement en Champagne par des sables argilo-quartzeux, glauconieux et pyriteux, à *Pecten asper* et *Ostrea carinata*, superposés à la gaize de l'Argonne, qui ont de quelques mètres à 30 mètres de puissance. Dans les environs de Sainte-Menehould et de Vouziers, où ils sont très développés, ils renferment des nodules de phosphate de chaux, très ferrugineux, noirs, qui se délitent beaucoup plus facilement que ceux des sables verts et de la gaize quand ils ont été exposés à l'air, et dont la teneur en acide phosphorique varie de 35 à 40 pour 100. Il est à remarquer que la glauconie de ces sables se décompose aussi plus rapidement que celle de l'albien, sans doute parce qu'elle renferme une plus forte proportion de fer ; aussi on les emploie avec succès pour l'amendement des terres crayeuses, auxquelles ils apportent de la potasse aisément assimilable et du sulfate de chaux.

Au-dessus des sables glauconieux viennent des marnes et des calcaires marneux blancs, gris bleuâtre, quelquefois verdâtres par suite de la présence de la glauconie. On y trouve, mais rarement, l'*Ammonites rotomagensis* ; à la partie supérieure apparaît le *Belemnites plenus*. Les bancs de calcaire marneux sont exploités près de Vitry-le-François pour la fabrication de la chaux hydraulique.

C'est surtout vers la base de l'étage que dominent les marnes. C'est à elles et aux alluvions anciennes qui les recouvrent parfois que l'arrondissement de Rethel doit sa richesse agri-

cole ; elles donnent des terres fortes à la vérité, mais que le drainage améliore notablement, et qui sont très propres à la culture du blé comme toutes les terres argilo-calcaires.

Par contre, elles sont souvent la source de grandes difficultés dans l'exécution des travaux publics. Le chemin de fer de Reims à Charleville les traverse près du village de Faux, dans une tranchée à laquelle succède un remblai qui a été formé avec des terres provenant de cette tranchée. Sous l'influence des pluies, ces terres se délayent et s'écoulent à droite et à gauche en amenant dans la plate-forme de la voie des mouvements inquiétants pour la sécurité de la circulation. Malgré des travaux coûteux, on n'est pas encore parvenu à arrêter ces mouvements, qui se reproduisent parfois d'une manière tout à fait inopinée après une longue période de repos.

757. Etage turonien. — L'étage turonien ne se sépare pas toujours très nettement du précédent, car il consiste encore en marnes et calcaires marneux, avec prédominance toutefois de ces dernières roches, et les fossiles n'y sont pas abondants. On peut le diviser en trois zones :

3. Zone à *Micraster breviporus.*
2. Zone à *Terebratulina gracilis.*
1. Zone à *Inoceramus labiatus.*

Près de Valmy, la craie marneuse sert à la fabrication de la chaux hydraulique. Des lits de silex sont intercalés à différents niveaux dans cet étage, mais ils ne se rencontrent guère que dans le nord. La partie supérieure passe à la craie et donne des sols presque aussi infertiles que ceux qui recouvrent cette roche.

758. Etage sénonien. — La craie blanche sénonienne est un calcaire tendre, assez pur puisqu'il ne contient pas plus de 4 à 5 pour 100 de matières étrangères, qui se présente avec un caractère remarquable d'uniformité dans tout le bassin de Paris et dont l'épaisseur peut atteindre 350 à 400 mètres.

La craie blanche comprend deux sous-étages qui se subdivisent chacun en deux zones :

II. Craie à bélemnites....	4. Zone à *Belemnites mucronatus.* 3. Zone à *Belemnites quadratus.*
I. Craie à oursins	2. Zone à *Micraster coranguinum.* 1. Zone à *Micraster cortestudinarium.*

A la base de cet étage M. Meugy a signalé une couche irrégulière de nodules phosphatés jaunâtres, contenant environ 45 pour cent de phosphate tricalcique. Dans le département de l'Aisne, il y a, à peu près au même niveau, un banc de calcaire magnésien et ferrugineux, connu sous le nom de *buquands* et qu'on exploite, à cause de sa dureté, pour l'empierrement des routes. Des lits de nodules de silex pyromaque blonds ou noirâtres, résultant d'une concentration moléculaire de la silice primitivement disséminée dans la masse crayeuse, se montrent en outre en divers points, ainsi que quelques rognons de pyrite de fer blanche, facilement décomposable, que les paysans prennent pour des météorites ou pour des pierres de tonnerre.

La craie blanche ne donne que des matériaux de construction très médiocres. Quelquefois cependant on y trouve, surtout dans sa partie inférieure, des bancs assez durs, de qualité passable. C'est avec cette roche qu'était bâtie l'ancienne ville de Reims ; on a retrouvé les carrières souterraines où on l'exploitait à l'époque gallo-romaine et on les a transformées en caves qui sont excellentes, à cause de l'uniformité de leur température, pour la préparation et la conservation du vin de Champagne.

La craie blanche forme les plaines sèches et arides de la Champagne, qui ne donnent de récoltes passables que dans le voisinage des villages, à force de soins et à grand renfort d'engrais. La craie à oursins est plus ingrate encore que l'autre ; c'est celle qui affleure au camp de Châlons et qui a valu à toute la région avoisante le nom populaire si expressif de *Champagne pouilleuse.* On a tiré le meilleur parti possible des sols improductifs, qui faisaient autrefois de la plus grande partie de la Champagne un véritable désert, en les boisant d'arbres résineux.

Le sol crayeux se reconnaît de loin à ses molles ondulations, à ses cours d'eau tranquilles et lents, sans crues violentes. Quelques monts couronnés par les premières assises tertiaires

ou par du limon, notamment aux environs de Reims, rompent seuls la monotonie de sa surface. Çà et là il est couvert d'un petit gravier crayeux, appelé *groise*, qui sert à fabriquer des briques séchées au soleil.

En raison de sa perméabilité, la craie laisse filtrer facilement les eaux pluviales, qui forment une nappe abondante reposant sur les marnes turoniennes. Jusqu'à une certaine hauteur, variable avec les saisons, au dessus de la couche imperméable, la craie est comme une éponge imprégnée d'eau ; aussi il n'est pas nécessaire de creuser jusqu'à cette couche pour trouver de l'eau.

Les sources ne sont pas nombreuses sur le plateau crayeux; mais elles sont généralement assez régulières et ne tarissent que dans les années de grande sécheresse. Au contraire, le long de la falaise qui termine la craie vers l'est, règne une ligne de sources qui ont déterminé l'établissement de nombreux villages.

C'est surtout à l'aide de citernes et de puits que les habitants des villages de la craie se procurent l'eau qui leur est nécessaire. Quand un puits vient d'être creusé, il a d'abord un faible débit ; ce n'est qu'au bout d'un certain temps qu'on voit l'eau arriver plus abondante, suée pour ainsi dire par les parois. Quand on tombe sur une fissure on trouve naturellement plus d'eau.

Ces puits atteignent parfois une grande profondeur ; dans les villages élevés ils peuvent aller jusqu'à 100 mètres et sont alors intarissables. Il est d'ailleurs facile de rendre leur débit plus considérable en creusant au fond des galeries horizontales pour augmenter la surface de suintement.

L'eau fournie par un puits récemment creusé est presque toujours trouble et comme laiteuse. Mais c'est une circonstance dont il n'y a pas lieu de s'inquiéter, car les particules crayeuses qu'elle tient en suspension se déposent lentement et l'eau devient limpide au bout de quelques mois.

Les niveaux auxquels se rencontrent l'eau dans les différents puits d'une même contrée ne se trouvent pas sur un plan horizontal, mais sur une surface inclinée vers les vallées (n° 48). L'inclinaison de cette surface diminue dans les sécheresses et

augmente dans les hautes crues, en sorte que les puits les plus éloignés des vallées sont ceux où le débit commence à baisser. Il en est de même pour les sources; les plus élevées tarissent les premières.

La craie se colmate facilement. Ses pores sont bouchés par les petites particules crayeuses amenées par les eaux et elle devient alors imperméable. C'est ce que prouve la présence des mares dans les villages champenois ; il suffit de curer ces mares et d'enlever la boue crayeuse qui en tapisse le fond pour que l'eau disparaisse. Pour le même motif, il faut au contraire curer les puits de temps en temps afin de rendre les suintements plus abondants.

L'eau de la craie, quand elle n'est pas salie par des infiltrations superficielles comme cela arrive presque toujours dans les puits de village, est d'excellente qualité. Elle titre de 15 à 20 degrés à l'hydrotimètre ; elle contient surtout du carbonate de chaux, peu de sulfates, sauf quand il y a dans le voisinage un gisement de pyrites. On sait que les belles sources de la Vanne, qui servent à l'alimentation de Paris, sortent de la craie blanche.

759. Étage danien. — L'étage danien est mal représenté dans la région orientale du bassin de Paris. Il ne forme que de rares lambeaux, placés sur les sommets de la craie, à Montereau et près de Vertus, correspondant à la partie supérieure de l'étage, que nous ne trouverons avec son développement complet en France que dans le midi.

Dans cette première localité, c'est un calcaire pisolithique à oursins et à *Nautilus danicus*, que surmonte l'argile plastique de l'éocène.

Aux environs de Vertus sur le plateau de la Faloise, le calcaire est blanc jaunâtre, celluleux et composé de moules de fossiles ; il devient plus compact dans le haut ; sa puissance est de 20 à 25 mètres. Il fournit là de bons matériaux de construction, faciles à tailler quand ils viennent d'être extraits, et on l'exploite par travaux souterrains. Il se trouve également au Mont-Aimé, où il est séparé de la craie par une glaise feuilletée vert noirâtre, et renferme des débris de poissons et de reptiles.

Ces dépôts, qui n'ont succédé à la craie qu'après un intervalle de temps pendant lequel se déposaient ailleurs les couches inférieures du danien, ont un caractère littoral bien marqué. Plusieurs de leurs fossiles ont des affinités évidentes avec des espèces tertiaires et l'on y trouve déjà des cérithes. C'est un argument qu'invoquent quelques géologues pour les rattacher au groupe tertiaire.

§ III.

SYSTÈME CRÉTACÉ DANS LES RÉGIONS SEPTENTRIONALE ET OCCIDENTALE DU BASSIN DE PARIS.

769. Falaises crétacées de la Manche. — Les falaises de la Manche, depuis les escarpements jurassiques du Calvados jusqu'à ceux du Boulonnais, sont taillées dans le terrain crétacé.

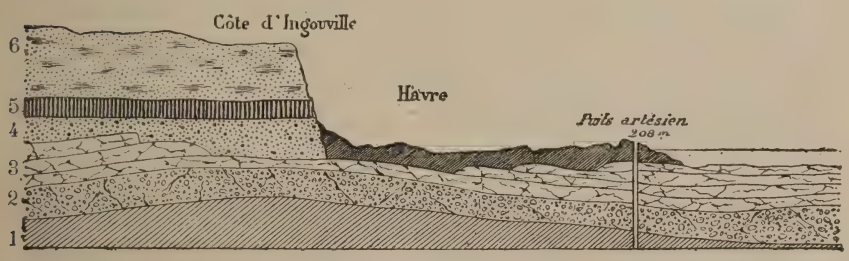


Fig. 454. — Coupe géologique du cap de la Hève (Lennier). — 1, oxfordien ; 2, corallien; 3, kimmeridgien; 4, aptien; 5, albien ; 6, cénomanien.

Il serait difficile de trouver des conditions plus favorables à l'étude, car il n'existe nulle part ailleurs en France des coupes plus régulières et plus hautes que celles de ces falaises, qui s'élèvent parfois à plus de 150 mètres au-dessus de l'Océan. Nous allons les suivre en partant du Hâvre,

Le cap de la Hève, près de cette ville (fig. 454), montre encore à sa base les dernières assises des terrains jurassiques, représentées ici par l'argile à gryphées virgules de l'*étage kimmeridgien*. Sur ces assises légèrement inclinées repose, en stratification discordante, une couche horizontale de sables jaunes bariolés de rouge, d'une épaisseur de 20 à 30 mètres, se terminant par un poudingue ferrugineux à *Ostrea aquila*, que l'on rapporte à l'*aptien*. L'*étage portlandien* et l'*étage néocomien* paraissent ainsi faire défaut. Au-dessus de l'aptien se présente l'*albien*, composé surtout d'argiles sableuses, glauconieuses, noirâtres, avec fossiles assez nombreux et nodules de phosphate de chaux.

Toute la partie supérieure des falaises de la Hève est formée par la *craie glauconieuse* ou *cénomanien*, dont la puissance est d'une soixantaine de mètres et qui à la base est marneuse ou même sableuse et contient de petits nodules phosphatés. C'est cette assise qui, s'avançant assez loin dans l'estuaire de la Seine, se retrouve à la montagne Sainte-Catherine, près de Rouen. Les fossiles y abondent généralement (*Ammonites rotomagensis*, *Turrilites costatus*, *Scaphites æqualis*, etc.). La couche meuble de la base, superposée à l'argile albienne imperméable, donne un niveau d'eau très régulier dans toute cette région.

Jusqu'au cap d'Antifer, on reste dans la craie glauconieuse dont le plongement général se fait vers le N.-E. Puis on rencontre le *turonien* ou *craie marneuse*, qui se continue jusqu'au pied des falaises d'Etretat (fig. 455), constituées par la *craie blanche* ou *sénonien*. Ces falaises, violemment attaquées par les vagues, se sont laissé entamer dans leurs parties les moins résistantes et c'est ainsi que se sont formées les grottes, les arcades, les aiguilles, qui attirent tant de touristes à Etretat.

Fig. 455. — Falaises d'Etretat.

La craie blanche est l'étage le plus puissant, car elle atteint près de 200 mètres d'épaisseur. Elle contient des silex en ro-

gnons stratifiés ou en petits lits tuberculeux, que l'on emploie dans les constructions du pays après les avoir taillés en petits cubes, ou qui servent à l'empierrement des routes.

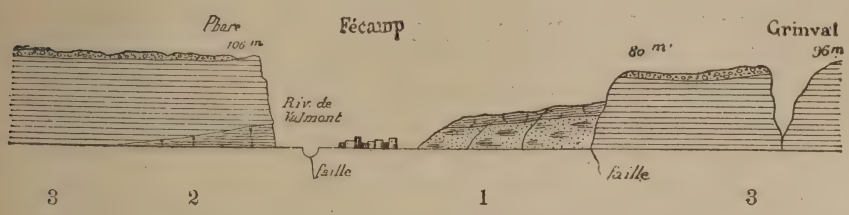


Fig. 456. — Coupe des falaises de Fécamp (Lennier).
1, craie glauconieuse; 2, craie marneuse; 3, craie blanche.

A Fécamp, la craie glauconieuse se trouve ramenée au contact de la craie blanche par un accident stratigraphique (fig. 456). Cette première a été soulevée par des failles, avec la craie marneuse et la craie blanche qui la surmontaient, de plus de 140 mètres ; puis de grandes érosions ont entraîné les parties saillantes et creusé la vallée dans laquelle est bâtie la ville de Fécamp.

Ce n'est pas là d'ailleurs un fait isolé ; les failles se constatent à chaque pas, moins importantes il est vrai, sur tout le littoral de la Manche, et ce sont des dislocations de ce genre qui ont donné naissance à la plupart des vallées qui aboutissent à la mer, à Etretat, Criqueport, Saint-Valery-en-Caux, etc.

En continuant à suivre le rivage de la mer, on aperçoit de nouveau la craie blanche à la base des falaises au-delà de la vallée de la Durdent. A Saint-Aubin, on atteint à peu près l'axe du bassin anglo-parisien, et on voit les couches, qui jusque là plongeaient assez régulièrement vers le nord-est, se relever et présenter une inclinaison contraire. C'est là l'effet d'un de ces plis parallèles, orientés 130°, qui ont été étudiés par M. Hébert et dont les failles ne sont que la conséquence.

De Saint-Aubin au Boulonnais, on recoupe par conséquent la série des assises crétacées en sens inverse, c'est-à-dire depuis les plus récentes jusqu'aux plus anciennes. La série se complète même par l'apparition de l'*étage néocomien*, assez mal représenté d'ailleurs par des sables ferrugineux avec fossi-

les lacustres et du minerai de fer, qui a été exploité autrefois pour l'alimentation des hauts-fourneaux de Marquise. Notons aussi en passant que la craie glauconieuse cénomanienne est exploitée près de Neufchâtel et employée pour la fabrication du ciment de Portland à Boulogne.

Au-delà du petit massif jurassique du Boulonnais, qui a crevé comme une boutonnière le terrain crayeux et qui se termine au cap Gris-Nez, entaillé dans le calcaire portlandien, reparaissent les assises crétacées plongeant vers l'est. On traverse encore une fois toute la série depuis les sables néocomiens jusqu'à la craie blanche, qui forme notamment les falaises blanches du cap Blanc-Nez. Les sables verts, qui s'étendent en zone étroite dans le Bas-Boulonnais, renferment des nodules de phosphate de chaux assez activement exploités.

Si l'on remarque que de l'autre côté de la Manche, sur les côtes de l'Angleterre, on observe identiquement les mêmes roches qu'en France, on est en droit de conclure que les deux pays n'ont été séparés que postérieurement à la période crétacée par une grande érosion marine. La constitution des petits monticules des Noires-Mottes va nous permettre de fixer avec plus de précision l'époque à laquelle a été ouverte cette gigantesque tranchée. Ces monticules, superposés à la craie blanche du cap Blanc-Nez et s'élevant à une altitude de 136 mètres, sont formés de sables avec grès ferrugineux, semblables à ceux qui couvrent les plateaux crétacés du nord de la France, de la Belgique et du sud de l'Angleterre, et que les géologues rapportent à la partie moyenne du système pliocène. Ce serait donc à une date relativement récente, vers la fin de la période pliocène ou au commencement de l'ère quaternaire, que l'Angleterre a été détachée du continent.

C'est dans la craie glauconieuse, formation imperméable qui se trouve à une centaine de mètres au-dessous du niveau de la mer entre Calais et Douvres, que l'on a projeté de percer le tunnel destiné à unir la France et l'Angleterre. A l'aide de nombreux coups de sonde donnés sur une série de lignes parallèles à la côte, on a pu déterminer l'affleurement des diverses couches au fond du détroit, et représenter par des courbes de niveau sur une carte l'allure souterraine de la craie glauconieuse.

On a constaté qu'il n'y avait pas de failles, comme on pouvait le craindre, et que les sinuosités de la ligne d'affleurement indiquaient un pli saillant assez prononcé près de la côte anglaise. En donnant au tunnel un tracé en rapport avec cette allure, c'est-à-dire en le composant de deux alignements droits raccordés par une courbe au voisinage du pli, on sera donc certain de ne pas sortir de l'assise imperméable.

761. Crétacé de la Flandre française. — Le système crétacé débute dans la Flandre par des sables grossiers ferrugineux, des sables à grain fin et des argiles de couleur variable, souvent réfractaires, parfois pyriteuses et lignitifères, disposées sans ordre dans des poches à la surface des terrains primaires.

Les sables grossiers sont exploités pour ballast de chemin de fer près de Féron ; c'est d'eux que sort la fontaine ferrugineuse de cette localité. Le sable fin, qui est généralement très blanc, est utilisé par les verreries. L'argile sert à la fabrication des poteries, notamment à Sars-Poteries, à Ferrières, etc. Quand aux lignites pyriteux, qui y sont contenus à Sains et à Offy, l'agriculture les emploie sous le nom de *cendres* pour l'amendement des terres. L'argile célèbre d'Andenne (Belgique), si estimée pour la fabrication des pipes, appartient au même niveau géologique.

Ces sables et argiles, désignés sous le nom d'*aachéniens* par Dumont qui les comparait aux sables d'Aix-la-Chapelle, paraissent correspondre au wealdien anglais (n° 779). C'est une formation fluviatile dans laquelle on ne trouve pas d'autres débris d'animaux que des traces d'*Unio*. Les végétaux y sont un peu plus communs, et l'on peut y recueillir des fragments de bois silicifié et des cônes de pins. Cette flore de conifères indique le voisinage de montagnes ; tout porte à croire que l'Ardenne était alors plus haute qu'elle ne l'est actuellement.

Le *torrent d'Anzin*, si redouté des exploitants de mines de houille à cause des difficultés qu'il apporte au fonçage des puits, n'est autre chose qu'une de ces poches de sables ferrugineux, imprégnés d'eau salée qui vient du terrain houiller. C'est une sorte de lac souterrain qui avait autrefois une superficie de 2.450 hectares La Compagnie d'Anzin a cherché à l'épuiser et

en a extrait annuellement pendant 20 ans 800.000 mètres cubes, en sorte que sa surface est actuellement réduite à 1.300 hectares. Cette surface pourra diminuer encore, car le torrent ne reçoit que très peu d'eau de l'extérieur, à cause de son recouvrement par les marnes turoniennes imperméables ou *dièves* des mineurs.

Il est à remarquer que les sables aachéniens sont toujours privés de glauconie. A leur partie supérieure seulement, à Wignehies, ils se chargent de glauconie et contiennent l'*Ammonites mamillaris* ; ils passent ainsi à l'albien.

L'étage turonien de la Flandre se signale par une assise remarquable, de 3 à 4 mètres d'épaisseur, qui se trouve à sa partie supérieure et qui comprend d'abord une couche de calcaire compact très dur, appelé *tun blanc*, renfermant 10 pour 100 d'acide phosphorique, puis une couche de craie très glauconieuse, tendre, phosphatifère par places, et enfin des nodules phosphatés de la grosseur du poing ou *tun supérieur*, à 10 pour 100 d'acide phosphorique, cimentés par un calcaire dur glauconieux.

762. Cénomanien du sud de la Seine. — Au sud de la Seine, l'étage cénomanien prend un faciès différent de celui qu'il possède en Normandie et dans l'est. Ce n'est plus une formation essentiellement calcaire, et les roches sableuses y tiennent une place prépondérante.

Ainsi dans le Perche, le cénomanien consiste surtout en sables ocreux, connus sous le nom de *sables du Perche*, reposant sur une marne glauconieuse à *Scaphites æqualis*, et représentant la partie supérieure de l'étage. Un grès ferrugineux, connu dans la contrée sous le nom de *roussard*, se trouve dans ces sables à l'état de rognons ou de bancs plus ou moins continus ; on s'en sert pour la construction des ouvrages d'art.

Dans le département de la Sarthe, une puissante assise de sables et de grès, à laquelle on donne le nom de *sables du Maine*, s'intercale entre la marne glauconieuse à *Scaphites æqualis* et les sables verdâtres à *Pecten asper* qui sont tout à la base du cénomanien. L'épaisseur des sables du Maine atteint en certains points 80 mètres ; l'*Ammonites rotomagensis*, qu'on

y trouve avec d'autres fossiles, fixe d'une manière certaine son niveau géologique.

Le Maine et le Perche, qui s'étendent entre la Sarthe et le Loir, constituent deux régions verdoyantes, bien arrosées, au relief varié quoique peu accidenté, où dominent les bois et les pâturages.

Les marnes cénomaniennes sont souvent très ébouleuses. Près de Vierzon, elles présentent ce caractère à un si haut degré dans la longue tranchée de l'Alouette, creusée pour le passage du chemin de fer, qu'il a fallu la transformer en un souterrain auquel une rare lumière est donnée par plusieurs ouvertures.

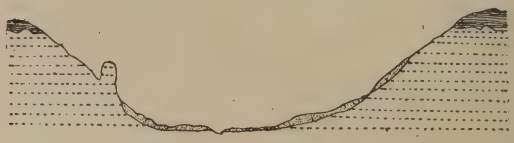
763. Craie de Touraine. — L'étage turonien prend un développement remarquable en Touraine et dans les régions voisines, où il représente à lui seul les 5/6 du système crétacé. La partie inférieure est une craie marneuse blanche ou grisâtre, quelquefois micacée, à *Inoceramus labiatus*, contenant par places des silex noirs. Au-dessus vient une craie jaunâtre, puis une craie sableuse micacée à *Ostrea columba*, avec nombreux silex tuberculeux.

C'est avec la craie marneuse à *Inoceramus labiatus* que l'on fabrique la chaux hydraulique de Senonches (Eure-et-Loir), l'une des plus anciennement connues, que l'on employe dans tous les départements du nord-ouest de la France ainsi qu'à Paris. Sur les limites du Perche et du Maine, on fait un grand usage de cette craie pour le marnage des terres sableuses ou argileuses.

La craie jaunâtre, ou *craie tuffeau*, est exploitée dans de très nombreuses carrières. Elle fournit généralement une pierre tendre, durcissant à l'air, d'une finesse et d'une égalité de grain remarquables qui la rendent très propre aux constructions. Elle s'écrase en moyenne sous une charge de 75 kilogrammes par centimètre carré ; quelques bancs durs ou demi-durs peuvent exceptionnellement résister à 350 ou 400 kilogrammes ; tels sont ceux que l'on exploite à Loches et dans les environs de Chinon (Indre-et-Loire) et que l'on réserve pour les ouvrages d'art, les soubassements, les trottoirs.

La craie sableuse, qui termine le turonien, se distingue dans la vallée du Loir par l'énorme quantité de bryozoaires qu'elle contient et par les escarpements auxquels elle donne lieu. Ces escarpements sont percés par des galeries d'anciennes carrières, la plupart transformées en habitations étagées d'un effet très curieux.

764. Craie blanche de la vallée de la Seine. — Dans une grande partie de la Normandie, la Seine et ses affluents coulent à travers de profondes vallées encaissées par la craie



Fig, 457. — Coupe à travers la vallée de la Seine.

blanche. Ainsi des Andelys à Elbeuf, sur une longueur d'une cinquantaine de kilomètres, les versants, formés de craie avec de nombreux lits de silex, sont à nu sur une hauteur de 75 à 90 mètres. En quelques points, par suite de la plus grande dureté des bancs, on observe une ou plusieurs rangées d'escarpements à pic ou même en surplomb, devant lesquels s'élèvent de distance en distance des sortes de pitons détachés de la masse (fig. 457).

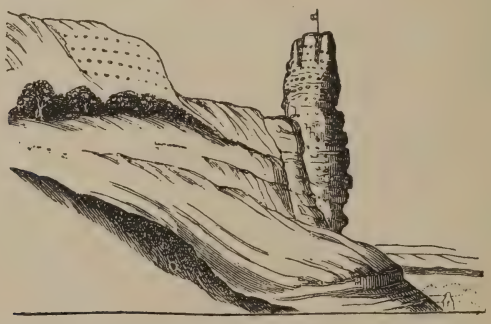


Fig. 458. — La Roche de Pignon, vue du sud.

Près d'Elbeuf notamment se trouve une de ces rangées de falaises, interrompue par une aiguille de 60 mètres de hauteur, appelée la Roche de Pignon, qui dépasse de 7 mètres la partie supérieure de la masse principale (fig. 458).

On reconnaît dans cette craie les divisions que nous avons indiquées pour la craie de l'est (n° 758). La craie à *Micraster cortestudinarium*, ou *craie noduleuse*, est mouchetée de taches grisâtres plus dures que le reste de la masse. On l'exploite notamment à Vernon et à Caumont (Eure) où elle donne une pierre demi-dure, blanc mat, à grain très fin, propre à la sculpture, susceptible de résister en moyenne à une charge de 300 kilogrammes par centimètre carré. C'est avec cette belle pierre que sont construits plusieurs ouvrages d'art de la région et la plupart des églises de Rouen, d'Evreux, de Louviers, etc. ; on la retrouve même au socle du vieux Louvre à Paris. Son principal défaut est de renfermer souvent des rognons de silex qui déparent les parements, et des parties tendres que les influences atmosphériques finissent par excaver. Elle exige ordinairement un abatage de carrière considérable, parce qu'elle ne se rencontre qu'à la partie inférieure de la roche crayeuse.

Près de Rouen, à la côte de Canteleu, on peut voir la craie à *Micraster coranguinum*, avec les mêmes caractères minéralogiques qu'en Champagne. Des bancs magnésiens durs, de coloration jaunâtre, y sont parfois intercalés.

La craie à bélemnites se montre à Mantes et à Gisors. Par suite d'un bombement, sa partie supérieure apparaît tout près de Paris à Meudon et à Bougival où elle est blanche, traçante, interrompue par des lits de silex et recoupée par de grandes fissures verticales, dont plusieurs, accompagnées de rejet, méritent le nom de failles. Les parois de ces failles sont cannelées et polies par suite du frottement énergique des deux masses l'une contre l'autre ; elles sont parfois recouvertes de cristaux de sulfate de strontiane, indices d'émanations internes.

Vers le haut, la craie de Meudon change d'aspect. Elle devient jaunâtre, dure, non traçante, et présente en tous sens des tubulures diversement ramifiées, faits qui témoignent de l'émersion et de la dénudation qu'elle a subies antérieurement au dépôt des couches plus récentes.

On se sert de cette craie pour la préparation du blanc de Meudon. En la mélangeant en proportions convenables avec l'argile plastique éocène, qui se trouve au-dessus, on l'utilise pour la fabrication du ciment ou de la chaux hydraulique.

La craie blanche a été traversée par le puits artésien de Grenelle, où on lui a reconnu une épaisseur de plus de 360 mètres.

765. Craie blanche de Picardie. — Comme celle de Normandie, la craie à *Micraster cortestudinarium* de Picardie est susceptible de donner des pierres de taille d'une assez grande dureté. Telle est la craie jaunâtre, noduleuse, que l'on exploite à Villers-Carbonnel dans l'arrondissement de Péronne (Somme) et que l'on a employée pour la construction de quelques ouvrages d'art du chemin de fer de Saint-Just à Cambrai. Elle se trouve en bancs de $0^m,75$ à 1 mètre ; son poids moyen est de 2.100 kilogrammes le mètre cube et elle résiste à des charges qui peuvent dépasser 600 kilogrammes par centimètre carré.

Aux environs de la Faloise se trouvent dans les mêmes bancs d'anciennes carrières qui ont fourni les matériaux de la cathédrale d'Amiens.

La craie à *Bélemnites quadratus*, qui vient ensuite, est très fossilifère ; elle a une coloration grise qui tranche avec la couleur blanche de la craie à oursins, sur laquelle elle repose en stratification discordante. Elle a acquis récemment un grand intérêt agronomique par la mise en exploitation des gisements de phosphate de chaux qu'elle renferme.

Le phosphate de chaux se présente là sous une forme différente de celles que nous avons eu l'occasion de signaler jusqu'ici. Il est en grains ou en paillettes brunâtres de très petites dimensions, disséminés dans la partie inférieure de l'assise à bélemnites et communiquant à la masse ainsi imprégnée une teinte chamois caractéristique.

Cette craie phosphatée, connue sous le nom de *craie piquetée*, a une teneur très irrégulière, depuis quelques centièmes jusqu'à plus de 30 pour 100 de phosphate tricalcique. D'après les études de M. de Mercey, qui l'a signalée le premier à Hardivilliers (Oise) et à Hallencourt (Somme), elle remplit, sous forme d'amas lenticulaire, une cuvette elliptique dont le grand axe dépasse un kilomètre et dont l'autre coïncide avec une faille. Vers certains points des bords de la lentille, on trouve une craie arénacée très riche en phosphate, car elle accuse des teneurs de 60 pour 100 et même davantage, occupant les joints de la craie

phosphatée grise et contenant des fragments crayeux. Ailleurs cette craie arénacée forme de petits lits intercalés dans la craie phosphatée cohérente. La coupe de la figure 459, empruntée à M. de Mercey, montre quelles sont les relations de ces deux sortes de craie.

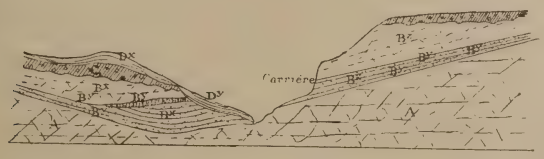


Fig. 459. — Coupe de la craie à Hardivilliers.
D^x et D^y. Limons et graviers.
C. Bief à silex.
B. Craie à *B. quadratus* { B^z blanche à silex. B^y phosphatée arénacée. B^x phosphatée cohérente.
A. Craie à *M. coranguinum*.

En raison de la grande proportion de carbonate de chaux qu'elle contient, la craie piquetée n'est utilisable qu'après avoir subi un traitement industriel. On la pulvérise d'abord, puis on la soumet à un courant d'air ascendant, qui enlève la farine crayeuse et laisse retomber les grains de phosphate ; on arrive ainsi à porter la teneur moyenne à 50 pour 100. Pour obtenir des teneurs plus élevées, on calcine légèrement la masse et on la lave à l'eau dans des appareils spéciaux.

Une préparation mécanique analogue a été effectuée par la nature en quelques points privilégiés. Dans les environs de Beauval près Doullens (Somme), il y a une série de poches résultant de la dissolution lente de la roche crayeuse par de l'eau chargée d'acide carbonique, dans lesquelles le sable phosphaté est accumulé et renferme encore, comme traces de son origine première, de nombreux débris fossiles de la craie à *Belemnites quadratus*. Par places, la craie piquetée est restée intacte, notamment dans le village même où elle supporte une partie des habitations. La teneur de ces sables varie de 60 à 75 pour 100 de phosphate de chaux tribasique. On en a constaté un cube de plus de 120.000 tonnes dans une seule poche.

Les ravinements qui ont donné naissance aux riches gisements de Beauval et de quelques autres localités n'apparaissent que rarement à la surface du sol. Ils sont recouverts presque partout par des dépôts tertiaires ou par du limon.

§ IV.

SYSTÈME CRÉTACÉ DANS LES CHARENTES ET LA DORDOGNE.

766. Etage cénomanien. — Le sous-système inférieur du terrain crétacé manque dans cette région. Le cénomanien, qui repose directement sur le terrain jurassique, comprend des argiles pyriteuses à lignites, avec grès glauconieux et ferrugineux, ne contenant guère d'autres restes organiques que des débris de végétaux ; puis des calcaires séparés en deux massifs par une assise de sables et d'argiles.

Ces dernières couches sont très fossilifères ; outre des fossiles identiques à ceux du bassin de Paris (*Turrilites costatus*, *Ostrea columba*, etc.), on y trouve des rudistes et des chamacés en grand nombre, notamment *Sphærulites foliaceus*, *Caprina adversa*. La roche en est quelquefois pétrie, comme dans les hautes falaises d'Angoulême où l'on remarque des caprines d'un mètre de longueur.

Les caractères pétrographiques de l'étage cénomanien ne sont d'ailleurs pas constants, surtout pour les bancs calcaires. En effet ceux-ci, qui sont durs et solides aux environs d'Angoulême, se montrent tendres dans d'autres localités, comme à Nersac, à Saint-Sulpice, où on les exploite pour pierre de taille. Là c'est un calcaire jaunâtre, un peu friable, durcissant à l'air, d'un grain cristallin et contenant une infinité de petits fragments de coquilles spathifiées.

Les couches d'argile intercalées dans les calcaires et qui, avec les sables, ont une épaisseur de 8 à 11 mètres, constituent

dans la Charente un excellent repère géologique, qui se dévoile extérieurement par une ligne de sources arrosant des prairies. Cette argile est plastique et elle alimente un grand nombre de tuileries.

767. Etage turonien. — Le turonien débute, de même que dans le bassin de Paris, par des calcaires marneux à inocérames (*ligérien*); puis la partie supérieure (*angoumien*) consiste en calcaires avec rudistes parmi lesquels on peut citer : *Hippurites organisans*, *H. cornu-vaccinum*, *Radiolites cornu-pastoris*. Ces rudistes, pressés les uns contre les autres, se développaient surtout en hauteur. Ils restent en saillie dans les grands escarpements rocheux que forment les calcaires qui les contiennent et figurent de loin des orgues gigantesques ; d'où le nom spécifique d'*organisans*, qui a été donné à l'un d'eux.

La pierre de taille d'Angoulême appartient à cette partie supérieure du turonien, épaisse de 70 mètres. C'est un calcaire crayeux tendre, d'un blanc de neige, durcissant à l'air, qui donne au sciage une poussière ressemblant à de la cassonade. Il est criblé d'une foule de petites cavités coniques, qui le font aisément reconnaître et qui sont dues à des rudistes, les *Radiolites lumbricalis*. Aussi il ne pèse pas plus de 1.800 à 1.850 kilogrammes le mètre cube et sa résistance à l'écrasement n'est que de 60 à 80 kilogrammes par centimètre carré. On l'exploite sur une grande échelle dans de nombreuses carrières ; l'une des plus importantes, celle de la Fontaine-du-Cerisier, sur le territoire de la commune de Soyaux, produit 44.500 mètres cubes par an. On en fait un grand usage dans tout le midi de la France et en Espagne, où on s'en sert non seulement pour la construction, mais aussi pour l'ornementation et la sculpture.

Au-dessous de ce calcaire tendre à radiolites, qui a 12 à 15 mètres d'épaisseur, se trouve un calcaire jaune très dur, avec parties spathiques, contenant le même fossile, mais en moins grande abondance, et que l'on exploite pour la confection des pavés. On en a même fait des meules de moulin, qui, avant

l'emploi des meules de silex dans le pays, jouissaient d'un certain renom.

Les carrières souterraines de Chancelade, qui se sont effondrées le 25 octobre 1885 sur une surface de près de 7 hectares en causant la mort de 14 personnes, sont ouvertes dans un banc de pierre tendre semblable à la pierre d'Angoulême.

On peut très bien juger de la disposition générale des diverses assises du cénomanien et du turonien en examinant le pays avec Coquand du haut du belvédère de la promenade du Parc à Angoulême. L'œil embrasse un des plus jolis paysages que l'on puisse imaginer et se promène sur une plaine légèrement bosselée, qui s'étend jusqu'à Châteauneuf, limitée d'un côté par la Charente, de l'autre par une série de coteaux frangés, découpés en promontoires à profil régulier et s'avançant sur la plaine à la manière de fortifications gigantesques. Toute la partie plate de la contrée et la base du coteau sont formées par les calcaires tendres du cénomanien, tandis que les plateaux appartiennent au turonien, et comme celui-ci comprend des roches dures, les dénudations ont été opérées suivant des cassures franches, auxquelles les promontoires doivent leur silhouette caractéristique.

La composition exclusivement calcaire de l'étage turonien explique d'ailleurs la sécheresse et l'aridité des coteaux qu'il constitue.

768. Etage sénonien. — L'étage sénonien est le plus important de la région, car son épaisseur peut dépasser 300 mètres. Il est constitué par des calcaires généralement tendres qui forment, au-dessus des calcaires plus solides du turonien, une série de coteaux à formes indécises et arrondies. Sa faune est très riche. On le divise en deux sous-étages : le *santonien*, ainsi nommé par Coquand à cause de son développement dans les environs de Saintes, et le *campanien*, qui forme une grande partie du sol de la Champagne.

Le santonien présente souvent à sa base une argile rougeâtre ou brunâtre et des sables verts argileux, qui comblent les ondulations de la craie turonienne. Au-dessus se trouvent, dans la Charente, des calcaires à *Ostrea auricularis*, contenant par-

fois cette coquille en si grande abondance que la terre végétale résultant de la désagrégation de ces calcaires disparaît sous un amas coquillier. Dans la Dordogne, les bancs calcaires renferment surtout des cératites.

Viennent ensuite des calcaires crayeux avec *Micraster turonensis* et diverses espèces d'ammonites.

Le campanien se compose surtout de calcaires crayeux avec rognons de silex subordonnés. Il est caractérisé par l'*Ostrea vesicularis* et correspond à la craie à belemnites du bassin de Paris. Vers sa partie inférieure on y trouve un banc à rudistes, parmi lesquels nous signalerons le *Radiolites fissicostatus*.

Un grand nombre de carrières sont ouvertes dans l'assise à *Micraster turonensis*. Celles des environs immédiats de Périgueux fournissent un calcaire glauconieux demi-dur, blanc grisâtre, à grains fins et serrés, qui pèse 2.230 kilogr. le mètre cube et qui résiste à une charge de 250 kilogrammes par centimètre carré ; on l'a employé pour la construction de l'église byzantine de Saint-Front, qui remonte au Xe siècle. A Sarlat la pierre est de moins bonne qualité ; c'est un calcaire tendre, jaune, qui ne résiste pas à plus de 60 à 70 kilogrammes par centimètre carré et qui ne pèse que 1.900 kilogrammes le mètre cube.

769. Étage danien. — L'étage danien, dont la puissance est de 50 à 60 mètres, se compose surtout de calcaires glauconieux et de calcaires dolomitiques jaunâtres. A la partie supérieure s'intercalent quelques couches d'eau douce. Les fossiles de cet étage sont : *Ostrea larva, O. acutirostris*, *Hippurites radiosus, Radiolites crateriformis*, *Sphærulites alatus*, *etc.*

Les rudistes se trouvent souvent avec une grande abondance dans certains bancs crayeux friables, et comme leur test, naturellement très épais, est converti en chaux carbonatée spathique, il est facile de les extraire de la gangue où ils sont groupés à la manière des huîtres. Aux Philipeaux (Charente), il y a même un récif formé exclusivement par des sphérulites et des hippurites, où la gangue disparaît pour ainsi dire. Les maisons de ce village sont bâties avec des rudistes dont chaque individu ferait les délices du collectionneur le plus exi-

geant ; bien que la forme irrégulière et la dureté de ces matériaux empêchent de les mettre en œuvre d'une manière convenable, ils n'en sont pas moins appréciés dans un pays où il n'existe guère que de la craie tendre, des argiles et des sables.

770. Influence du sol sur la vigne. — On sait qu'avant la destruction de ses vignes par le phylloxéra, l'arrondissement de Cognac jouissait d'une réputation universelle pour les eaux-de-vie qu'on y produisait sous le nom de *cognacs* et qui se distinguaient par la délicatesse et la puissance de leur arôme.

Les dégustateurs du pays avaient établi depuis longtemps trois divisions principales basées sur la qualité des eaux-de-vie et en même temps sur la région de laquelle elles proviennent : 1° la *Grande Champagne*, comprenant les coteaux qui, entre Ségonzac et Barbézieux, courent parallèlement à la Charente et forment une bande continue depuis Nouaville jusqu'à la rivière du Né ; c'est sur ces coteaux seuls que se trouvent les crus de premier ordre ; 2° la *Petite Champagne*, plaine crayeuse qui s'étend entre Cognac et Châteauneuf et qui est limitée au sud par les coteaux de la Grande Champagne, au nord par le bourrelet rocheux qui borde la Charente ; 3° le *Pays des Bois*, comprenant des parties de la rive droite du fleuve qui étaient d'abord plantées en bois et que l'on a défrichées pour y substituer de la vigne ; d'où le nom d'eau-de-vie des Bois donné aux esprits provenant de ces terrains.

Coquand a montré que ces divisions concordent exactement avec des compartiments de la carte géologique. Les vignobles de la Grande Champagne poussaient sur des couches crayeuses, friables, très légères, caractérisées par l'*Ostrea vesicularis*, appartenant au sous-étage campanien. Le sol de la Petite Champagne est moins crayeux ; il est formé par les couches du santonien. Quant aux eaux-de-vie des Bois, qui étaient de qualité inégale, mais inférieure à celles des deux régions précédentes, elles provenaient de vignes poussant sur les calcaires solides à rudistes des étages turonien et cénomanien, ou bien sur des argiles et sables tertiaires. L'examen de la carte

géologique suffit ainsi pour déterminer la qualité des produits dont on connaît la provenance.

On peut d'ailleurs observer que les terrains de la Champagne du nord de la France se trouvent au même niveau géologique que ceux de la Champagne de la Charente et qu'ils ont à peu près la même composition minéralogique ; aussi ils ont comme eux une aptitude particulière pour la culture de la vigne.

§ V.

SYSTÈME CRÉTACÉ EN PROVENCE.

771. Étage néocomien. — L'étage néocomien joue un rôle considérable dans la constitution de la Provence, où il atteint une très grande puissance. Voici quelles sont ses principales divisions :

4. Calcaire à caprotines.
3. Calcaire siliceux à scaphites et à criocères.
2. Calcaire marneux à spatangues.
1. Calcaire à bélemnites plates.

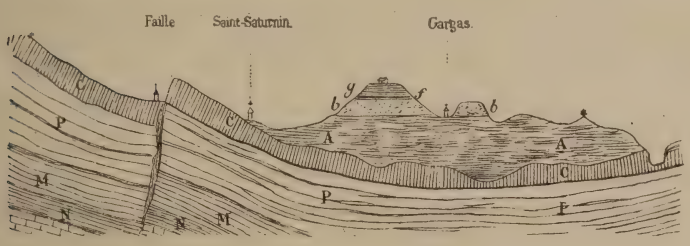


Fig. 460. — Coupe transversale de la vallée comprise entre le mont Ventoux et le Léberon (Leymerie). — N, calcaire à bélemnites plates ; M, calcaire à spatangues ; P, calcaire à criocères ; C, calcaire à caprotines ; A, aptien ; *b*, sables et argiles à *Limnœa longiscata* (éocène) ; *f*, marne noire à débris de mammifères ; *g*, marnes avec bancs de gypse.

Toutes ces assises sont bien représentées à l'est de Vaucluse, comme le montre la coupe de la figure 460 où l'on voit

le calcaire à criocères, avec son revêtement de calcaire à caprotines, se relever des deux côtés de la vallée aptienne pour former les pentes opposées du mont Ventoux d'une part et du Léberon de l'autre, massifs qui peuvent être considérés comme appartenant aux derniers contre-forts des Alpes.

L'assise inférieure, qui repose sur le jurassique, est caractérisée par des bélemnites plates et plusieurs espèces de petites ammonites à l'état ferrugineux. Composée de calcaires marneux peu développés, divisés en petites couches que séparent des lits de marne, elle correspond à ce que les géologues suisses appellent le *valenginien*, et elle a pour équivalent dans le bassin de Paris le minerai de fer de Wassy. Le calcaire marneux à spatangues a une épaisseur variant de 200 à 800 mètres. Le calcaire à criocères est encore plus épais, car il atteint de 600 à 900 mètres ; il est au même niveau que les argiles ostréennes de la Haute-Marne. Quant à la dernière assise, formée de calcaires coralligènes crayeux ou suboolithiques, qui sont caractérisés par *Requienia ammonia* et *R. Lonsdalei,* autrefois connus sous le nom de *caprotines*, elle a environ 150 mètres ; d'après sa position stratigraphique, elle paraît correspondre aux argiles et sables bigarrés de la Haute-Marne.

Les deux assises supérieures avaient été désignées par d'Orbigny sous le nom de *sous-étage urgonien,* parce qu'elles sont très bien représentées près de la ville d'Orgon, sur la rive gauche de la Durance.

C'est l'assise à criocères qui constitue principalement le relief de la petite chaîne des Alpines, ce qui justifie le nom de *calcaire provençal* qui lui a été donné par Leymerie. Là elle consiste en un calcaire de couleur claire, assez compact ; le calcaire à caprotines qui la recouvre en diffère par sa couleur encore plus blanche et sa consistance crayeuse et quelquefois oolithique. On trouve dans ce dernier calcaire des rudistes et des chamacés, auxquels s'associent d'autres fossiles comme des nérinées de grande taille, des baguettes d'oursins et des polypiers ; il formait ainsi des récifs jouant par rapport au crétacé inférieur le rôle du calcaire corallien dans la période oolithique.

Dans les Alpines, l'assise inférieure du néocomien, qui a une vingtaine de mètres d'épaisseur, devient plus compacte et se transforme en un calcaire cristallin contenant toujours des bélemnites plates.

La bauxite (n° 293) a été observée pour la première fois en amas irréguliers dans le calcaire provençal des Alpines, aux Baux.

L'étage néocomien est également très développé à l'est de Marseille et dans la partie orientale de la ville elle-même. La côte des Catalans et la montagne de Notre-Dame-de-la-Garde sont entièrement formées par le calcaire provençal et le calcaire à caprotines, associés à de belles dolomies.

De grandes carrières sont ouvertes dans le calcaire provençal, qui fournit des matériaux d'excellente qualité, notamment à Cassis dans l'arrondissement de Marseille, à quelques kilomètres de la mer. La pierre qu'on extrait dans cette localité est compacte, très dure, blanchâtre, à pâte très fine, susceptible de poli ; elle pèse 2.700 kilogrammes le mètre cube et ne s'écrase que sous une charge de 1.100 kilogrammes par centimètre carré. Elle vaut 40 fr. sur carrière et s'exporte en Algérie, en Egypte, en Turquie et en Russie. On en a fait un grand usage à Marseille pour la construction de plusieurs monuments publics, la préfecture, le palais de justice, l'hôtel de ville, etc.

En somme, c'est le calcaire à criocères, souvent privé de fossiles si ce n'est dans le haut, avec son revêtement de calcaire à caprotines, qui donne à la Provence la plus grande partie de son relief. Ces calcaires se reconnaissent de loin, formant des arêtes et des versants presque toujours dénudés et couverts de blocs anguleux ; ils sont particulièrement inaptes à constituer un sol cultivable, et on n'aperçoit à leur surface que de chétifs oliviers, de maigres amandiers, quelques bois mal venus et de pauvres pâturages à moutons. Comme ils ont subi le contre-coup des secousses violentes qui ont accompagné le soulèvement des Alpes, ils sont souvent traversés par de nombreuses failles, comme celle que représente la figure 460 et sur le prolongement de laquelle se trouve le gouffre d'où surgissent les eaux de la célèbre fontaine de Vaucluse (n° 50).

772. Étages aptien et albien. — C'est à Gargas près d'Apt que d'Orbigny a pris le type de l'aptien. Là il consiste en un dépôt argileux de 100 à 150 mètres d'épaisseur, reposant sur le calcaire blanc urgonien, dont il nivelle les inégalités. Les argiles, de coloration bleuâtre, sont riches en plicatules et ammonites pyriteuses, et elles sont surmontées d'un calcaire marneux jaunâtre avec *Ostrea aquila* et *Ancyloceras Renauxianus*.

L'étage aptien se montre encore avec un beau développement à la Bedoule près de Cassis, d'où il passe dans le Var où se trouve le célèbre gîte du Beausset. Dans ces deux localités, il est principalement constitué par des calcaires marneux et offre encore un grand nombre de céphalopodes à tours déroulés, notamment des *Ancyloceras*, comme à Gargas.

L'albien, faiblement développé en Provence, consiste généralement en sables et en grès glauconieux avec quelques bancs de calcaire. Les nodules phosphatés s'y trouvent çà et là, entre autres aux environs de Grasse, mais généralement en trop faible quantité pour être avantageusement exploitables.

773. Étages cénomanien, turonien et sénonien. — Le cénomanien de la Provence se compose surtout de calcaires à *ichthyosarcolithes* ou *Caprina adversa*. A la base se trouve un grès grossier avec la faune du bassin de Paris (*Pecten asper*, *Ammonites rotomagensis*) et vers la partie supérieure un calcaire marneux à *Ostrea columba*. Ce calcaire marneux est superposé près du Beausset à des couches saumâtres à cyclades et à potamides, à Mondragon à des grès lignitifères.

Le turonien a une composition assez variée. Aux environs du Beausset, il est caractérisé par des calcaires à rudistes (*Hippurites organisans*, *Radiolites cornu-pastoris*, etc.) qui surmontent des calcaires marneux à *Inoceramus labiatus*, tandis que près d'Uchaux ce sont surtout des couches arénacées, connues sous le nom de *grès d'Uchaux*, contenant les mêmes espèces de rudistes et reposant encore sur le calcaire marneux à *Inoceramus labiatus*. Au milieu de ces grès sont

intercalés des calcaires silicéo-ferrugineux avec fossiles silicifiés d'une magnifique conservation, notamment *Trigonia scabra*, qu'on voit se détacher en saillie à la surface des bancs. On retrouve ici les mêmes divisions que dans la Charente (n° 767).

Le sénonien comprend deux sous-étages correspondant à ceux de la Charente et de la Champagne : le santonien, ou craie à oursins, avec *Micraster turonensis*, *M. brevis*, etc., et le campanien, ou craie à bélemnites, dans lequel il y a plusieurs bancs de rudistes (*Radiolites fissicostatus*) avec nombreux polypiers et bryozoaires. Vers le sommet, on observe près du Beausset un dépôt à végétaux, formé de calcaires et de grès, remarquable par l'analogie que ses fougères et ses conifères ont conservée avec les types des époques plus anciennes.

774. Étage danien. — L'étage danien est représenté dans la vallée de l'Arc par une puissante formation d'eau douce, qui se compose de couches calcaires et argileuses, et dans laquelle s'intercalent des bancs de lignite exploités à Fuveau. Toute cette masse de dépôts, placée au-dessous de couches correspondant à l'éocène parisien, était autrefois rapportée à la base du groupe tertiaire. Ce sont les persévérantes recherches de M. Matheron qui ont fixé leur âge et établi qu'ils appartiennent au dernier étage du système crétacé.

Voici quelle est la série des couches daniennes dans les environs de Fuveau :

Eocène.	Calcaire du Montaiguet.	
Garumnien.	7. Calcaire du Cengle avec physes et *Strophostoma lapicida*.	30m.
	6. Argiles rutilantes de Châteauneuf-le-Rouge avec petite couche de lignite.	200
	5. Calcaire de Rognac avec *Lychnus*, cyclostomes, paludines, etc.	80
	4. Argiles grises, roses, bigarrées, à reptiles.	270
	3. Grès de la Bégude et calcaire à *Chara*.	350
	2. Calcaires à physes, cyclostomes, *Lychnus*.	
Maestrichtien.	1. Calcaires à lignites de Fuveau avec cyrènes striées à profusion, unios, carapaces de chéloniens.	200
Sénonien.	Marnes et argiles à *Melanopsis*.	

Les *calcaires à lignites*, qui succèdent à la formation saumâtre des marnes sénoniennes à *Melanopsis*, sont franchement lacustres. Ils se signalent, au point de vue paléontologique, par une véritable profusion de fossiles. Les cyrènes striées concentriquement s'y montrent par myriades, se dessinant en blanc sur le fond obscur de la roche, et elles arrivent à former des bancs entiers auxquels les mineurs donnent le nom de *clovisseux*. Des débris de carapaces de tortues, des dents assez bien conservées y sont fréquents.

Les vestiges déterminables de plantes y sont extrêmement rares ; en revanche, sur les plaques charbonneuses abondent de menus fragments de végétaux palustres ou fluviatiles. A Trets on a trouvé dans les lits de charbon de nombreuses empreintes de feuilles d'un lotus analogue à celui qui peuple les lagunes chinoises. La formation du charbon de Fuveau semble donc avoir eu lieu, comme le fait remarquer M. de Saporta, par le transport de débris encore organisés, noyés dans une pâte végétale déjà décomposée. Nous signalerons encore à ce niveau les débris d'un végétal remarquable, le *Rhizocolon*, de la famille des restiacées (fig. 461).

Fig. 461. — *Rhizocolon.*

C'est cette assise qui renferme les bancs de combustible activement exploités dans le département des Bouches-du-Rhône, ainsi que les calcaires argileux avec lesquels on fabrique le ciment si connu sous le nom de ciment de la Valentine. On peut l'assimiler à la craie de Maestricht. Les couches suivantes constituent un sous-étage spécial auquel Leymerie, qui l'a reconnu dans le département de la Haute-Garonne, donne le nom de *garumnien*.

Parmi les fossiles caractéristiques de ce sous-étage, les *Lychnus* méritent une mention particulière. Ce sont des gastéropodes, très voisins des hélices, qui ont été décrits pour la

première fois par M. Matheron ; ils ont une bouche retournée et ouverte en haut avec le bord externe réfléchi. On ne les a pas encore signalés dans la bande garumnienne qui traverse le Languedoc, mais on les a retrouvés au même niveau sur l'autre versant des Pyrénées, dans la Catalogne.

Ce qui donne surtout une physionomie spéciale au garumnien, ce sont les puissantes couches d'argiles bigarrées à reptiles et d'argiles rutilantes de Châteauneuf, séparées par les calcaires à *Lychnus*, qui offrent entre elles de grandes analogies. Ces dernières prennent surtout de l'importance quand on se dirige vers l'ouest ; on voit se dégager de leur masse des bancs de calcaire solide, sur l'un desquels sont appuyées les culées du célèbre aqueduc de Roquefavour.

Ces argiles forment, de Fuveau à la Haute-Garonne, une zone presque continue, facile à reconnaître non seulement à son aspect rutilant, mais encore à l'intercalation d'un conglomérat à éléments calcaires diversement colorés, connu dans la marbrerie sous le nom de *poudingue fleuri* ou *brèche du Tholonet*.

Le calcaire à physes qui les surmonte est une roche très dure formant comme une corniche saillante, appelée *barre du Cengle*, à mi-hauteur du massif de Saint-Victor sur le flanc nord de la vallée de l'Arc.

Au-dessus vient le *calcaire du Montaiguet*, que l'on classe dans l'éocène. Entre ces deux calcaires il y a un passage graduel d'espèces ; l'un et l'autre renferment notamment le *Strophostoma lapicida*. La limite entre le secondaire et le tertiaire n'est donc pas ici très nette, et il semble qu'il y aurait au moins autant de raisons de rattacher la barre du Cengle au dernier groupe qu'au premier. Nous ferons d'ailleurs remarquer d'une manière générale, avec M. Villot, que si le tableau ci-dessus représente bien exactement l'ordre de succession des couches de la vallée de l'Arc, on ne pourrait toutefois affirmer que les assimilations aux divers termes de la série classique soient entièrement à l'abri de la critique. Cette classification, fondée à peu près exclusivement sur des rapprochements ingénieux, sur des comparaisons de faunes locales avec celles d'autres lieux où le synchronisme des assises a pu être saisi, ne saurait

être considérée comme définitive et il reste encore bien des points de détail à élucider. Mais en présence de l'idée de continuité qui tend de plus en plus à régner dans la science, la position exacte des coupures à faire entre les assises n'a plus qu'une importance secondaire.

La fin de la période crétacée a été ainsi marquée en Provence par l'installation d'un grand lac dans lequel s'est accumulée une masse énorme de sédiments. Ce lac a subsisté longtemps encore au-delà de cette période, car, comme nous le verrons plus loin, on ne trouve plus que des fossiles lacustres dans la longue succession des couches qui se poursuit jusqu'à la fin du système éocène.

775. Bassin lignitifère de Fuveau. — La puissance moyenne du terrain à lignite de la vallée de l'Arc est, comme on l'a vu plus haut, de 200 mètres. C'est vers le centre du bassin qu'on observe le maximum, qui atteint 220 mètres, tandis que sur les bords l'épaisseur se réduit à 130 mètres.

En laissant de côté quelques filets insignifiants, on compte dans cette masse sept couches de lignite séparées par des épaisseurs variant de 7 à 66 mètres. La couche la plus importante est la couche inférieure, dite *Grande mine*, qui a 3 à 4 mètres de puissance totale ; mais elle présente des veines intercalées de stérile, en sorte que son épaisseur utile ne dépasse jamais $2^m,50$ et peut s'abaisser à $0^m,60$. Trois couches venant au-dessus ont chacune de $0^m,25$ à $0^m,85$ d'épaisseur. Les trois dernières n'ont plus que $0^m,25$ à $0^m,35$, et ne sont pas exploitées, sauf quand les autres sont inondées et qu'on tient à se procurer du charbon à tout prix.

En somme, en supposant que toutes les couches atteignent leur maximum d'épaisseur sur la même verticale, la plus grande puissance avantageusement exploitable ne dépasserait pas $4^m,65$.

Il est à remarquer qu'aux affleurements les veines de charbon sont souvent très écrasées et que leur épaisseur peut se réduire de plus de la moitié. Le charbon est en outre devenu friable, ou même pulvérulent, en sorte qu'il faut parfois une grande attention pour en constater la présence. On ne se dou-

terait guère, à voir certains de ces filets noirâtres sur les flancs des vallées ou les parois des anciennes tranchées, qu'ils se transforment à peu de distance en couches de charbon dur et compact. Cette altération consiste dans la disparition d'une partie du carbone, qui s'est oxydée par l'effet d'une sorte de combustion lente, et dans l'augmentation de la proportion des matières terreuses.

Les calcaires qui encaissent les lignites sont traversés par un grand nombre de fendillements, qui les rendent perméables en grand malgré leur compacité. Tout l'ensemble des couches est en outre découpé par des failles, dont quelques-unes, très importantes, amènent des dénivellations de quelques centaines de mètres.

Un autre accident spécial au bassin de Fuveau est celui des *moulières*. Ce sont des cassures, mais sans dénivellation, dont la largeur va en diminuant en profondeur et qui peuvent avoir jusqu'à 50 mètres de large, et même davantage, à la surface du sol. Elles sont remplies par des matières de transport dans lesquelles domine l'argile ; sur leur passage les bancs calcaires sont dérangés, cassés en blocs, quelquefois avec traces d'effondrement, et le charbon est remplacé par une boue noirâtre impropre à tout usage, ou même par des matières argileuses.

L'explication de ce phénomène a été donnée par de Villeneuve-Flayosc. Les eaux de surface, s'infiltrant dans les cassures, ont oxydé, sous l'influence de l'oxygène qu'elles contiennent, les pyrites de fer disséminées dans les couches du terrain ; il en est résulté de l'acide sulfurique qui, se joignant à l'acide carbonique dissous dans ces eaux, a attaqué le calcaire et le charbon. Les vides qui en ont été la conséquence ont amené des affaissements, et le remplissage s'est fait par des parties argileuses constituant le résidu insoluble de la dissolution des calcaires.

Malgré les accidents qui les affectent, les couches de lignite présentent à Fuveau une remarquable continuité et on peut être assuré qu'en quelque point de la vallée qu'on fasse un puits, on rencontrera le charbon exploitable.

Mais ces accidents n'en exercent pas moins une influence

fâcheuse sur l'exploitation. Les eaux superficielles s'insinuent dans les fissures avec la plus grande facilité pour se rendre dans les travaux souterrains, et il peut suffire d'une pluie violente pour que ceux-ci soient inondés. Ces quantités d'eau formidables constituent le plus grand obstacle contre lequel ont à lutter les exploitants de Fuveau ; on a calculé qu'année moyenne il ne faut pas extraire moins de 20 à 25 mètres cubes d'eau par tonne de charbon ; ce chiffre s'est même élevé à 42 mètres cubes en 1883.

Aussi des machines d'épuisement très puissantes ont-elles dû être installées. Mais, à mesure que les travaux s'approfondissent, les difficultés augmentent, et il est question de construire une galerie qui conduirait jusqu'à la mer les eaux des mines. Cette galerie d'écoulement, qui aurait une quarantaine de kilomètres de longueur, permettrait, avec une pente de 1/2 à 1 millimètre par mètre, d'extraire sans épuisement 40 millions de tonnes de charbon.

Le charbon de Fuveau est un lignite sec, noir, dur, tenace, à cassure unie, plutôt terne que brillant, qui brûle avec une flamme longue et fuligineuse. Il contient une notable proportion de soufre, le double environ de ce qu'on trouve dans la houille ordinaire ; aussi il s'altère à l'air avec la plus grande facilité. Dans les travaux souterrains, il peut amener des incendies s'il n'y a pas une active circulation d'air.

Le coke qu'il donne par la calcination n'est pas collé. Son pouvoir calorifique, sans eau ni cendres, est de 6.500 à 7.000 calories, tandis que celui des houilles varie, dans les mêmes conditions, de 8.000 à 9.500.

La production du bassin de Fuveau s'est rapidement développée et elle ne s'éloigne pas beaucoup actuellement du chiffre de 400.000 tonnes par an. La plus grande partie de ce charbon se consomme dans le département même des Bouches-du-Rhône.

776. Ilot triasique du Beausset. — Le bassin crétacé du Beausset, dont nous avons déjà eu l'occasion de parler plusieurs fois, présente une circonstance curieuse qui a longtemps intrigué les géologues. La colline qui s'élève au sud de

cette localité est formée par des couches de trias et d'infralias, qui constituent ainsi un îlot isolé au milieu des assises crétacées.

Pour expliquer une telle anomalie, on admettait que ce trias était un ancien récif, une saillie du fond de la mer crétacée, contre les flancs de laquelle s'était déposé le sénonien dans la position où on le voit encore aujourd'hui. M. M. Bertrand a démontré que cette interprétation est inexacte et que le trias et le lias, complétement renversés, constituent en réalité un lambeau posé sur le crétacé.

Ce lambeau faisait partie d'une masse qui a été poussée sur ce dernier système par une forte pression latérale et qui a subi ensuite une puissante dénudation. Des faits analogues existent, comme nous l'avons vu précédemment, dans le bassin houiller du nord de la France et de la Belgique. Il s'est formé un grand pli anticlinal couché, qui s'est déversé sur le crétacé et, l'effort continuant à agir, les couches ont glissé les unes sur l'autre, s'échelonnant en quelque sorte sur la route parcourue.

Les phénomènes de ce genre ne sont d'ailleurs pas rares dans la région provençale et une observation attentive les dévoile sur les bords de tous les grands plis. Mais l'étude n'en est pas toujours facile, car les dénudations ou les tassements postérieurs ont pu compliquer plus ou moins les apparences. La Provence qui, si l'on excepte quelques anomalies, a passé longtemps pour un pays à allures peu tourmentées, doit être considérée comme une contrée fortement plissée, dans laquelle les ondulations des couches, loin d'être rectilignes, décrivent souvent des sinuosités où chaque pli anticlinal se déverse sur le pli synclinal qui lui fait suite au nord.

§ VI.

TYPES DIVERS DU TERRAIN CRÉTACÉ.

777. Crétacé inférieur du Dauphiné. — Dans le nord du Dauphiné et dans la région du Jura, le système crétacé inférieur ne diffère pas notablement du type septentrional. Il faut noter cependant que, au contraire de ce qui se passe en Champagne, l'étage néocomien est plutôt argileux à sa base ou dans sa partie moyenne (couche à spatangues), tandis qu'il se termine par un calcaire jaune employé dans le pays comme pierre de construction.

L'aptien proprement dit est absent ou rudimentaire. Le gault, qui se retrouve avec les mêmes caractères que dans le bassin de Paris, constitue un niveau très recherché des géologues, parce qu'il permet de séparer les assises du crétacé supérieur de celles du néocomien, avec lesquelles on pourrait parfois les confondre. Il renferme à Bellegarde (Ain), près de la perte du Rhône, trois bancs de nodules phosphatés de 40 à 80 centimètres de puissance, à 40 pour 100 de phosphate tricalcique, que l'on a exploités assez activement ; les fossiles y sont nombreux et tous phosphatisés.

Aux environs de Grenoble, le néocomien prend déjà le faciès provençal. A sa base les céphalopodes deviennent abondants, et sa partie supérieure, ou urgonien, prend un grand développement. Ce sont les calcaires blancs compacts à caprotines de ce niveau qui forment le massif de la Grande-Chartreuse, avec une puissance de près de 500 mètres, ainsi que le plateau du Granier qui termine ce massif du côté de Chambéry et dont les escarpements, découpés en pilastres par des fissures verticales, présentent les aspects les plus pittoresques.

778. Néocomien du Gard et de l'Ardèche. — Le néocomien du Gard et de l'Ardèche offre les quatre assises que

nous avons distinguées en Provence (n° 771). Il est d'un intérêt tout particulier par les beaux matériaux qu'il renferme et qui, d'après Emilien Dumas, ont été mis en œuvre dès une époque reculée.

Les carrières de Barutel, ouvertes à quelques kilomètres de Nîmes dans l'assise à spatangues, fournissent une pierre compacte, dure et très fine, pesant 2.200 kilogrammes le mètre cube et ne s'écrasant que sous une charge de 430 kilogrammes par centimètre carré. Les Romains l'ont utilisée pour la construction de l'amphithéâtre de Nîmes, du temple de Diane et du stylobate de la Maison-Carrée ; mais ils ont commis parfois la faute de la placer en délit, en sorte qu'elle s'est désagrégée ou effeuillée par l'effet du temps ou sous le poids des maçonneries superposées, comme on peut le voir aux piédroits et aux parements extérieurs du premier de ces monuments. On débite quelquefois cette pierre en lames minces pour le pavage.

La pierre de *roquemaillère* [1], qui provient de la partie supérieure de la même assise, est confusément stratifiée, jaune clair avec parties bleues et rosées, plus tenace et plus dure que la précédente ; elle peut être indifféremment placée en lit ou en délit ; sa résistance à l'écrasement est de 580 kilogrammes par centimètre carré. Employée il y a près de 2.000 ans par les Romains pour la construction des murs de l'ancienne enceinte fortifiée, de la plupart des gradins et des escaliers intérieurs de l'amphithéâtre de Nîmes, elle n'a pas subi la moindre altération. On s'en sert aussi pour faire des pierres d'évier, des meules à olives, des pavés, etc.

L'étage à caprotines comprend des calcaires blancs, tendres et crayeux, donnant de très bonnes pierres de taille qui se travaillent facilement et durcissent ensuite rapidement. La cathédrale d'Alais a été construite avec ces pierres en 1740.

Au Bois des Lens, près de la route de Nîmes à Anduze, le calcaire de cet étage prend accidentellement une texture oolithique à grains fins et serrés. C'est une des plus belles pierres que l'on puisse trouver ; elle tient admirablement l'arête et se

1. De *roque* et *maillet*, parce qu'on ne peut la tailler qu'avec le secours du maillet.

fouille au ciseau avec la plus grande facilité ; d'un blanc éblouissant au sortir de la carrière, elle se colore à la longue d'une teinte brun jaunâtre, d'un ton chaud qui donne aux constructions un faciès antique. Les Romains l'ont employée pour la construction de la plus grande partie de la Maison-Carrée et pour la décoration intérieure du temple de Diane. Au moyen âge, on s'en est servi pour la statuaire.

On retrouve dans le bois des Lens les anciennes carrières romaines. On y voit encore des blocs de 3 à 4 mètres de longueur, en partie séparés de la masse par des entailles verticales de 10 centimètres seulement de largeur sur plus d'un mètre de profondeur.

Cette pierre pèse 2.300 kilogrammes le mètre cube et s'écrase sous une charge de 340 kilogrammes par centimètre carré ; elle vaut 50 à 60 francs le mètre cube. Son exploitation est peu importante et elle n'a plus actuellement que des débouchés locaux.

C'est à l'assise à criocères qu'appartiennent les couches exploitées sur une vaste échelle près du Teil (Ardèche) et qui donnent cette chaux hydraulique siliceuse si renommée pour ses qualités exceptionnelles. Le front de taille des carrières, qui atteint 120 mètres dans sa plus grande hauteur, laisse voir un ensemble de bancs très compacts et très homogènes, sans le moindre accident stratigraphique, qui au Détroit plongent de 22 degrés environ vers le nord (fig. 462).

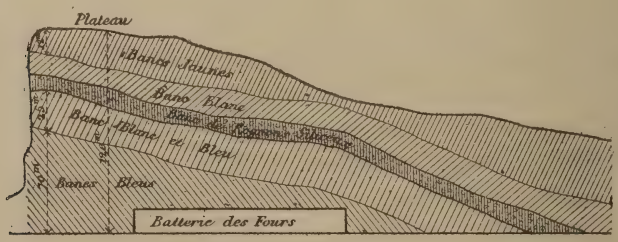


Fig. 462. — Front de taille de la carrière du Détroit.

A la partie supérieure sont des bancs jaunes, ou pierre de découverte, ne contenant que 8,50 pour 100 de résidu insoluble dans l'acide nitrique ; cette pierre, très riche en fossiles,

notamment en ammonites et en nautiles, est en grande partie jetée aux déblais. Au-dessous vient un banc blanc, plus régulier comme épaisseur, dont la teneur en silice est de 10 pour 100. Le banc de rognons siliceux, qui le suit, est une couche stérile. Le banc blanc et bleu renferme 12 pour 100 de silice, et les bancs bleus de la base de 12 à 17,50 pour 100 avec de rares concrétions siliceuses. L'accroissement proportionnel de la silice se fait régulièrement de haut en bas.

Les rognons siliceux sont, comme ceux de la craie, le résultat de la concentration de la silice en certains points d'attraction. Ce qui le montre bien, c'est que, dans leur voisinage immédiat, le calcaire est moins siliceux qu'à une certaine distance. Ainsi, dans les bancs bleus, où la teneur normale du calcaire en silice est de 17 pour 100 et celle des rognons de 45 pour 100, M. Decœur a constaté qu'à 1 centimètre de la limite du rognon, cette teneur est de 6 pour 100, à 20 centimètres de 7 à 8 pour 100, et augmente ainsi régulièrement suivant la grosseur de ce rognon jusqu'à 60 centimètres à 1 mètre, distance à laquelle le calcaire reprend sa composition normale.

779. Wealdien en Angleterre. — Au-dessus de la formation lacustre de Purbeck (n° 746), on observe dans la partie méridionale de l'Angleterre une autre formation d'eau douce, qui se sépare de la précédente par ses débris organiques et qu'on place à la base du système crétacé, en l'assimilant au néocomien marin. C'est le *wealdien*, ainsi appelé parce que la région où on l'a étudié pour la première fois, et qui s'étend dans les comtés de Kent, de Surrey et de Sussex, porte le nom de *Weald*.

On peut le diviser en deux assises : 1° les *sables de Hastings*, dont l'épaisseur est de 200 à 300 mètres ; 2° l'*argile wealdienne*, ou *Weald-clay*, qui a à peu près la même puissance.

L'assise inférieure est surtout sableuse ; elle renferme en outre des couches de grès, d'argile et de schiste. Le sable rocheux des falaises de Hastings, qui appartient à la partie inférieure de cette assise, abonde en débris de sauriens, parmi lesquels on remarque le mégalosaure et le plésiosaure; on y a également trouvé des restes de ptérodactyles et de chéloniens. C'est

dans le grès calcaire de la forêt de Tilgate, de la partie supérieure, que l'on a rencontré pour la première fois les restes de l'*Iguanodon*.

Les couches de Hastings offrent en outre des dents et des écailles de ganoïdes et de placoïde, des troncs innombrables de fougères, de cycadées et de conifères, des coquilles d'eau douce et quelques espèces indiquant des eaux saumâtres.

L'argile wealdienne est une argile bleue ou brune, avec quelques lits schisteux et des bancs accidentels de calcaire, presque entièrement composés d'une espèce de paludine ressemblant beaucoup à celle qui vit encore dans les rivières anglaises. Ce calcaire a été exploité autrefois sous le nom de *marbre de Sussex*. On trouve également dans les argiles, notamment à l'île de Wight, une grande quantité de dents et d'ossements d'*Iguanodon*. En quelques points, il y a une telle abondance de *Cypris*, genre répandu dans les lacs et les étangs, que l'argile qui les renferme prend une texture finement lamellaire, comme celle qui résulte de la présence de paillettes de mica.

Fig. 463. — Carte géologique du Weald (Lyell).

1		Tertiaire.	5		Weald-clay.
2		Grès vert aptien.	6		Sables de Hastings.
3		Gault.	7		Couches de Purbeck.
4		Grès vert inférieur.	8		Oolithe.

Le Weald est une région parfaitement définie, limitée de tous côtés par un grand escarpement de craie sénonienne, et qui a 300 kilomètres de l'est à l'ouest sur 160 du nord au sud. Dans ce vaste espace, on voit les couches, en partie enlevées

par les eaux, plonger de tous côtés à partir de l'axe central. C'est ainsi que les sables de Hastings occupent sa partie centrale avec un petit lambeau de purbeckien (fig. 463), et qu'autour se dessinent successivement les affleurements de l'argile wealdienne, du grès vert aptien et du gault.

Une telle disposition démontre d'une manière évidente qu'à la suite d'un exhaussement de toutes les couches du Weald, il est survenu une grande érosion qui a fait disparaître les assises qui recouvraient la formation lacustre depuis l'aptien jusqu'à la craie. Cette dénudation devait être presque entièrement opérée avant l'ère tertiaire.

Lyell regarde les dépôts wealdiens comme le delta d'un grand fleuve ou de plusieurs cours d'eau descendant du nord-ouest. Les assises analogues qui existent sur les côtes de Hanovre, près de la frontière de Hollande, se rattacheraient aussi à ce delta.

780. Crétacé de la Saxe et de la Bohême. — Tout en appartenant au type septentrional, le terrain crétacé de la Saxe et de la Bohême, qui se réduit aux étages supérieurs, présente des caractères assez différents pour qu'il y ait lieu de le mentionner d'une manière particulière.

Des grès blanchâtres, parfois glauconieux, disposés en épaisses couches horizontales, y prennent un grand développement. Ils sont divisés naturellement en parallélépipèdes rectangles par des fissures verticales, de telle sorte que leurs coupures escarpées, qui constituent un des traits caractéristiques du pays, offrent l'aspect de murailles démantelées. De là le nom de *Quadersandstein* (grès à carreaux) que les Saxons donnent à cette roche, qu'ils emploient au reste pour les constructions et qui forme les rochers pittoresques de la Suisse saxonne et des monts de Lusace.

Le crétacé commence par une formation d'eau douce contenant de nombreux végétaux, et qui, remplissant des dépressions du sous-sol ancien, n'existe pas partout ; au-dessus vient une puissante assise de *Quadersandstein*, puis un calcaire marneux, ou *Pläner* inférieur, à *Ostrea carinata*. Ces assises représentent le cénomanien.

L'étage turonien se compose du *Pläner* moyen à *Inoceramus labiatus* et du *Pläner* supérieur à *Spondylus spinosus*, séparés parfois par une couche de sable ou de grès vert à *Ostrea columba*.

Le sénonien comprend des marnes à baculites et le *Quadersandstein* supérieur de la Suisse saxonne.

781. Craie de Ciply et de Maestricht. — L'étage danien est très bien représenté en Belgique dans les environs de Mons. Il commence par une craie grise à baculites, reposant sur la craie de Spiennes à *Belemnites mucronatus*, et connue sous le nom de *craie brune de Ciply*, qui renferme encore des fossiles de la craie blanche et que l'on pourrait à la rigueur rattacher à l'étage sénonien. C'est une masse peu cohérente, stratifiée en bancs réguliers, qui, dans sa partie supérieure, c'est-à-dire sur une hauteur variant suivant les localités de 5 à 12 mètres, renferme un grand nombre de petits grains bruns arrondis, dont les plus gros ne dépassent pas le volume d'une tête d'épingle et qui consistent essentiellement en un mélange de phosphate de chaux et de carbonate de chaux. En dessous on rencontre des lits de rognons siliceux, quelquefois phosphatés, et la proportion des grains bruns va en diminuant.

A sa partie supérieure, la craie brune présente des poches dans lesquelles se trouvent des amas d'un poudingue dit *poudingue de la Malogne*, formé de nodules de couleur brunâtre cimentés par une pâte calcaire et dont la composition chimique est la même que celle des grains bruns. En raison de son mode de gisement, ce poudingue est assez irrégulier ; il peut atteindre plus de $1^{m},10$ d'épaisseur et se diviser quelquefois en deux et même plusieurs couches distinctes ; généralement il n'a que quelques décimètres.

C'est sur ce poudingue ou, quand il fait défaut, sur la craie brune, que repose le *tuffeau de Ciply* qui est lui-même assez phosphatifère. A sa base, il est plus dur et d'une texture plus fine que dans le reste de la masse et renferme de petits nodules avec des bélemnites.

Les nodules du poudingue et les petits grains de la craie brune tiennent environ 45 à 50 pour 100 de phosphate de

chaux ; le reste est du carbonate de chaux avec un peu d'argile, de silice et d'oxyde de fer.

D'après MM. Cornet et Briart, la craie brune est connue en affleurement sur une ligne de 7 kilomètres et demi de longueur, et la surface sous laquelle elle pourra s'exploiter au-dessus de la nappe aquifère n'est pas inférieure à 250 hectares. Le volume de roche en place à enlever sans que l'on ait à recourir à des machines d'épuisement est d'environ 20 millions de mètres cubes, renfermant 7.500.000 tonnes de phosphate tricalcique. Ce gisement a donc une importance considérable et, malgré les développements pris par les extractions, il suffira certainement pendant des siècles aux besoins de l'agriculture.

En quelques points des environs de Ciply, notamment sur le territoire de la commune de Mesvin, on trouve sous un sable glauconifère riche en silex une couche d'une substance en poudre grenue, faiblement agglomérée, de couleur châtain, ressemblant à du sable très ferrugineux, et qui n'est autre chose qu'une matière phosphatée très riche, puisqu'elle ne renferme pas moins de 60 à 62 pour 100 de phosphate tricalcique.

La couche a environ 25 centimètres d'épaisseur ; mais elle n'est pas continue et elle suit fréquemment des excavations coniques dont les dimensions varient de quelques centimètres à 6 mètres. Elle est constituée par les mêmes petits grains phosphatés que ceux de la craie brune.

Aussi, il est très probable que ce gisement remarquable, qui affecte la même allure que celui de Beauval (n° 765), est également le résultat d'une épuration naturelle de la craie brune, analogue au procédé d'enrichissement employé dans l'industrie. Seulement, outre l'enlèvement mécanique de la craie qui réunit les grains phosphatés, il y a eu dissolution d'une partie du carbonate faisant partie constituante des grains mêmes. Nous avons vu que les nodules liasiques de la Côte-d'Or et des Vosges ont été soumis à une action semblable.

Le tuffeau est encore plus développé dans le Limbourg où il forme la *craie de Maestricht*, épaisse d'une trentaine de mètres, célèbre par le mosasaure que l'on y a trouvé vers la

fin du XVIIIe siècle. Il consiste en alternances d'une craie jaunâtre, tendre et friable, et d'un calcaire plus dur, pétri de bryozoaires et de polypiers, et se termine par des marnes.

C'est cette craie que l'on exploite dans les grandes carrières souterraines de la montagne Saint-Pierre, qui occupent une superficie de 8 kilomètres sur 16 et dont l'ouverture remonte, dit-on, à l'époque romaine. Les parties les plus cohérentes sont utilisées comme matériaux de construction ; les parties friables servent à l'amendement des terres, usage auquel elles sont très propres, parce que cette roche se nitrifie avec une grande facilité et peut arriver à tenir jusqu'à 1,10 pour 100 de nitrate de chaux.

782. Albien et cénomanien de Russie. — Les étages albien et cénomanien de Russie méritent d'être signalés pour les immenses gisements de phosphate de chaux qui s'y trouvent contenus. Les explorations géologiques ordonnées par le gouvernement russe ont fait découvrir cette substance dans une grande partie du sol d'un immense triangle, dont le sommet serait à Saint-Pétersbourg et dont la base relierait Odessa à Orenbourg. M. Yermolow en évalue le rendement à 15 ou 20.000 tonnes de phosphorite par hectare dans la région centrale et à 30 à 60.000 tonnes dans le gouvernement de Tambow, et affirme que la Russie centrale pourrait paver la moitié de l'Europe avec le phosphate de chaux sur lequel elle repose.

Les gisements de l'albien ont été observés dans la région occidentale, couverte de steppes ; aussi est-il difficile de les suivre sur une grande étendue. On a pu cependant les reconnaître en un certain nombre de points, où on rencontre généralement une première couche de nodules phosphatés, sous des grès glauconieux et micacés, puis une seconde couche de blocs ou concrétions en forme de dalles avec des nodules disséminés, dont l'épaisseur atteint parfois jusqu'à 60 centimètres. Cette dernière couche, qui est de beaucoup la plus importante, repose sur des assises de sable brun verdâtre, contenant aussi plusieurs lits de nodules épars. La teneur en acide phosphorique est très variable : dans les parties les moins riches, qui

ne se composent que de nodules siliceux, le dosage est de 32 à 37 pour 100 de phosphate tricalcique ; dans les roches en dalles et les nodules argileux, il s'élève de 38 à 50 pour 100, et même quelquefois au-delà de 60 pour 100.

Dans les environs de Spassk, la roche phosphatée est placée sur des assises sableuses au-dessous desquelles apparaissent des couches argileuses du système jurassique. A la base des sables, il existe une couche de poudingue ou de grès chargé de phosphate de chaux, à laquelle on donne le nom de *grès d'apatite* ou *apatit sandstein*. Ce grès s'est formé à la manière de l'alios des Landes (n° 62) sous l'action d'eaux qui ont dissous la chaux phosphatée des couches de nodules, puis se sont infiltrées dans les sables qu'elles ont cimentés ; aussi la teneur en acide phosphorique va en diminuant de 12 à 4 p. 100, de la partie supérieure à la partie inférieure.

La craie cénomanienne s'étend surtout dans la partie centrale de la Russie, au sud et à l'ouest du gouvernement de Moscou, et c'est dans le gouvernement de Koursk qu'elle comprend les gisements les plus considérables. L'immense bassin qu'ils occupent s'étend bien au-delà des limites de ce gouvernement, sur une largeur de plus de 150 kilomètres. Le nombre des couches superposées varie de une à trois ; quelquefois il s'élève jusqu'à sept, mais alors la plupart ne sont que de simples veines.

Quant au phosphate, il affecte, comme dans l'albien, tantôt la forme de nodules ou rognons, de grosseur très variable, noirs, bruns, gris ou verdâtres, tantôt la forme de larges dalles de 20 centimètres environ d'épaisseur. Ailleurs il apparaît en blocs massifs, presque semblables à de la pierre de taille, constitués par une agglomération de gros rognons cimentés entre eux. Cette pierre noirâtre, dont la véritable nature est restée longtemps ignorée et que l'on prenait pour une matière ferrugineuse comme les nodules des Ardennes, est désignée sous le nom populaire de *samorod* ou *pierre naturelle*, par opposition à la brique qui est une pierre artificielle. On l'exploite de temps immémorial pour les constructions et pour le pavage ou l'empierrement des chaussées. Les propriétaires riverains avaient remarqué que les boues des routes ainsi empierrées produisent d'excellents effets sur les cultures.

De nombreuses analyses, faites sur des matières provenant de divers points des couches, ont accusé un teneur en phosphate de chaux variant de 30 à 60 pour 100 ; on peut admettre que la moyenne est de 35 pour 100. La richesse semble être en raison de la densité et du degré de coloration : les nodules siliceux et friables, de nuance grise, sont relativement pauvres ; au contraire, les nodules denses, argileux, d'un noir foncé, sont bien plus riches.

CHAPITRE XX

ÈRE TERTIAIRE. — PÉRIODE ÉOCÈNE

§ I. Généralités sur l'ère tertiaire. — § II. Caractères de la période éocène. — § III. Système éocène dans le bassin de Paris. — § IV. Terrain nummulitique. — § V. Types divers de l'éocène. — § VI. Massif des Pyrénées.

§ I.

GÉNÉRALITÉS SUR L'ÈRE TERTIAIRE.

783. Conditions physiques. — Dans l'ère tertiaire ou *néozoïque*, les conditions physiques, qui jusque là avaient été à peu près uniformes à la surface du globe, se différencient de plus en plus de manière à se rapprocher de la variété que nous observons actuellement.

La répartition des mers et des continents subit des modifications considérables. La terre ferme gagne peu à peu en étendue, des îles nouvelles surgissent du sein de l'océan et celui-ci se retire progressivement des régions qu'il occupait. Mais ce n'est pas d'un seul coup et sans retour en arrière que s'est opérée la délimitation actuelle ; il s'est produit, surtout au début de l'ère, de nombreuses oscillations qui ont eu pour effet de placer alternativement les terres à sec ou sous le fond de la mer. Dans les périodes d'émersion marine, les eaux atmosphériques s'accumulaient dans les dépressions et y formaient des lacs autour desquels s'installait une riche végétation.

On comprend d'après cela pourquoi les dépôts tertiaires, au lieu de constituer, comme les assises antérieures, des masses épaisses et continues sur de grands espaces, sont plutôt disposés en bassins séparés ou en nappes à la surface des bas plateaux, et pourquoi on y rencontre de si fréquentes alternances de formations marines, lacustres et saumâtres. Ce dernier caractère est un des traits distinctifs, sinon exclusifs, du groupe tout entier, et surtout du système éocène.

Par suite des mouvements souvent répétés d'émersion et d'immersion, les roches dont sont composés les terrains tertiaires ont en outre une bien plus grande variété que celles des terrains plus anciens ; ajoutons qu'elles sont généralement peu consistantes. Ce sont des argiles molles et plastiques, des sables généralement très purs, parfois consolidés sous forme de grès, des calcaires assez rarement compacts, mais très habituellement grossiers, friables, poreux ou tufacés, qui fournissent de bonnes pierres à bâtir, tendres pour la plupart. Le gypse, le sel gemme, les minerais de fer, les rognons siliceux, le soufre, issus en grande partie des profondeurs du globe, abondent dans certaines régions.

Les couches du groupe tertiaire sont presque toujours horizontales et plus intactes que celles des systèmes précédents. Elles ne se montrent guère rompues et soulevées que dans les massifs montagneux et elles ont alors éprouvé les effets du métamorphisme, au moins aussi complètement que des terrains beaucoup plus anciens ; ainsi on rencontre dans le tertiaire des Alpes de véritables schistes ardoisiers et des calcaires noirs, durs et brillants, analogues à ceux du silurien.

Les mouvements orogéniques reparaissent avec une amplitude inconnue jusque là. C'est alors que se forment, ou plus exactement qu'achèvent de se former, les plus hautes chaînes de montagnes du globe, les Pyrénées, les Alpes, les Carpathes, le Caucase, l'Himalaya, les Cordillières. Les assises tertiaires se trouvent ainsi portées à de grandes altitudes : celles qui appartiennent à la première moitié de l'ère se voient aujourd'hui par exemple à plus de 3.000 mètres aux Diablerets (Alpes) et au Mont Perdu (Pyrénées), à 5.000 mètres en certains points de l'Himalaya.

L'activité interne du globe, qui est en rapport étroit avec la puissance orogénique, se réveille de son long sommeil. En France, le Plateau Central s'entr'ouvre pour livrer passage aux trachytes et aux basaltes de l'Auvergne et des régions voisines. Des éruptions semblables se produisent dans le centre de l'Allemagne, en Hongrie, en Transylvanie et en bien d'autres points du globe. En même temps les émanations internes président à la formation de nouveaux filons et déposent dans les fissures de l'écorce terrestre diverses matières où dominent l'or et l'argent.

L'égalité climatérique n'existait plus depuis la fin de la période jurassique. La concentration du soleil continuant à faire des progrès, la division de la surface terrestre en zones climatériques va en s'accentuant de plus en plus, et ce changement se manifeste dans les différences que présentent les animaux et les plantes du même âge dans les diverses contrées.

La formation des grands massifs montagneux, l'établissement du régime hydrographique qui en a été la conséquence, les modifications dans la distribution de la terre et des mers, tous ces faits ont dû exercer eux-mêmes une influence considérable sur les conditions météorologiques du globe et par contre-coup sur les faunes et les flores.

L'apparition des premières glaces aux pôles et sur les hautes montagnes paraît avoir eu lieu à la fin de l'ère tertiaire.

784. Caractères paléontologiques. — Les formes primaires ont disparu depuis longtemps et les formes secondaires qui subsistent sont en pleine décadence, en sorte que le monde organique se rapproche beaucoup du monde actuel.

Les angiospermes, qui remontrent au crétacé supérieur, prennent définitivement la prépondérance sur toutes les autres plantes.

On a déterminé plus de 20.000 espèces animales tertiaires. La faune est donc très riche ; mais il faut observer qu'elle est bien mieux connue que celle des périodes précédentes, car ses restes ont été moins exposés aux causes de destruction, et il est possible que certains types qu'on considère comme lui étant spéciaux existent dans des terrains plus anciens où on

les trouvera sans doute un jour, de même que les dragages ont ramené du fond de l'océan des animaux qu'on croyait éteints.

Les ammonites et les bélemnites ont fini leur existence, si brillante dans les temps jurassiques et crétacés. Il n'est plus question non plus des nérinées, des turrilites, des hippurites, des ganoïdes, des sauriens marins. Les vrais oiseaux remplacent les reptiles volants. Les gastéropodes et les bivalves prennent une rapide extension. Les polypiers cèdent le pas aux foraminifères pour la construction des grands massifs calcaires.

Mais, de toutes les formes nouvelles, ce sont surtout les mammifères qui acquièrent une importance extraordinaire et l'on peut dire qu'ils caractérisent le tertiaire tout entier. Nous allons exposer en quelques mots les faits principaux de leur développement, en prenant pour guide le remarquable ouvrage de M. Gaudry sur les *Enchaînements du monde animal dans les temps géologiques.*

Cette étude est d'un haut intérêt pour le paléontologiste, car tandis que les plantes tertiaires ne diffèrent déjà plus beaucoup des végétaux actuels, que les grands traits des animaux invertébrés sont dessinés et que les vertébrés à sang froid ont traversé les principales phases de leur évolution, nous surprenons les mammifères en pleine transformation. Ces animaux n'ont pu commencer à se développer que lorsque les énormes reptiles secondaires, qui régnaient en maîtres à la surface du globe, ont disparu, et, grâce à des conditions particulièrement favorables, on est arrivé à établir la généalogie de plusieurs d'entre eux.

On sait qu'on divise les mammifères en deux groupes : les *placentaires* et les *marsupiaux.* Chez les premiers, le fœtus s'unit intimement à la mère par un placenta, en sorte que le petit, quand il vient au jour, a pris assez de développement pour n'avoir pas besoin de rester constamment fixé aux mamelles de sa mère. Chez les seconds au contraire, il n'y a pas de placenta ; les jeunes, lors de leur naissance, ne sont pour ainsi dire qu'ébauchés et ils se greffent en quelque sorte aux mammelles, en se tenant le plus souvent dans une sorte de poche soutenue par des os particuliers appelés *os marsupiaux.*

Les marsupiaux, apparus dès la période du lias, continuent à se montrer dans l'ère tertiaire ; mais ils offrent des formes qui les rapprochent des mammifères proprement dits et qui embarrassent souvent les paléontologistes qui ne savent au juste à quel ordre les rapporter. M. le docteur Lemoine a signalé notamment, à la base du tertiaire des environs de Reims, des animaux qui présentent un mélange tellement intime des caractères actuels des pachydermes, des lémuriens et des marsupiaux qu'on peut se demander avec M. Gaudry si les placentaires ne sont pas les descendants des marsupiaux.

Les marsupiaux ont vécu dans nos pays pendant toute la période éocène ; puis, vers le milieu du miocène, ils ont émigré d'Europe. Dans quelques autres régions du globe, ils ont persisté plus longtemps, et ils existent encore de nos jours en Australie, où ils sont surtout représentés par la sarigue d'Amérique et le kanguroo. Cela montre bien que, dès le milieu de l'ère tertiaire, il y avait comme aujourd'hui des faunes locales.

Les mammifères placentaires peuvent être partagés, sous le rapport de l'habitat, en deux groupes : les *marins* et les *terrestres*. Les premiers, qui vivent à peu près exclusivement dans la mer et auxquels appartient l'ordre des *cétacés* de Cuvier, n'ont qu'une paire de membres, tandis que les mammifères terrestres ont quatre membres.

Les cétacés sont peu nombreux dans la période éocène ; ils ne deviennent réellement abondants que dans les périodes suivantes. Comme c'est au sein des océans que la vie a commencé à apparaître pour se répandre de là sur les continents, le développement tardif de ces animaux est assez difficile à expliquer, à moins qu'on ne les considère comme les derniers épanouissements d'anciennes souches.

Les placentaires terrestres se divisent en *ongulés*, qui ont des pattes à doigts garnis de sabots ne servant qu'à la locomotion, et *onguiculés*, dont les pattes sont munies de doigts terminés par des ongles ou des griffes et servent à saisir aussi bien qu'à marcher. Ces derniers sont évidemment les plus élevés.

Les ongulés comprennent deux ordres : les *pachydermes*,

qui doivent leur nom[1] à la peau épaisse qui recouvre leur corps, et les *ruminants*, animaux essentiellement herbivores, à estomac multiple, qui ont la faculté de ramener à leur bouche les aliments déjà ingérés dans leur estomac pour les mâcher de nouveau.

Les pachydermes peuvent être divisés en trois sous-ordres : les *pachydermes proprement dits*, comme le rhinocéros ; les *solipèdes*, à un seul doigt apparent et à un seul sabot, qui ne comprennent actuellement qu'un seul genre, le cheval ; les *proboscidiens*, à incisives transformées en défenses, comme l'éléphant.

Les pachydermes proprement dits, dans lesquels on distingue les *imparidigités*, à doigts impairs, tels que le rhinocéros et le tapir, et les *paridigités*, à doigts pairs, tels que les cochons et les hippopotames, possèdent des caractères mixtes qui permettent de conclure qu'ils remontent à une époque ancienne où les mammifères n'offraient pas encore les divergences qui se sont accusées vers le milieu des temps tertiaires. Ils sont en effet déjà florissants dès la période éocène et, tandis qu'ils ne forment actuellement qu'une petite partie de la totalité des mammifères, ils constituaient dans cette période près de la moitié de cette classe ; puis ils n'ont fait que décroître dans les périodes suivantes. Au nombre des plus intéressants sont ceux que le génie de Cuvier a reconstitués : le *Palæotherium* et l'*Anoploterium*.

Les solipèdes et les proboscidiens, qui représentent dans la nature actuelle des types très spécialisés, ne se montrent nettement qu'après la période éocène, au moins en Europe. Ces derniers sont les plus parfaits, parce qu'ils ont la faculté de préhension au moyen d'une trompe ; quelques-uns d'entre eux surpassaient même alors ceux des temps actuels.

Les ruminants, qui ont eu également leur règne dans la seconde moitié de l'ère tertiaire, mais qui, au contraire des pachydermes dont il n'y a plus que des reliquats isolés, sont encore florissants de nos jours, succèdent aux paridigités, de même que les solipèdes aux imparidigités. Les caractères du

1. Παχυς, épais ; δερμα, peau.

squelette et notamment la dentition permettent de considérer les ruminants comme les descendants des paridigités et les solipèdes comme les descendants des imparidigités ; les passages entre ces ordres sont des plus frappants.

Les onguiculés, qui, sauf quelques exceptions, ne se montrent pas encore dans l'éocène, renferment les *édentés*, les *rongeurs*, les *insectivores*, les *cheiroptères*, les *carnivores* et les *quadrumanes*. Les espèces tertiaires des quatre premiers ordres sont trop imparfaitement connues pour qu'il soit possible de bien raisonner sur leurs enchaînements ; au premier abord le développement tardif des édentés, ordre inférieur à ceux qui l'ont précédé, peut offrir un argument contre la doctrine de l'évolution, mais peut-être ces animaux ne sont-ils que des espèces dégradées d'autres ordres. Les carnivores se développent surtout dans le pliocène. Les quadrumanes, les plus parfaits des êtres, comprennent les *lémuriens*, les plus anciens et dont une espèce a été signalée tout au début du miocène, et les *singes*, qui ont apparu plus tard.

785. Divisions du groupe tertiaire. — En raison de l'étendue restreinte des mers intérieures, qui vont en diminuant constamment de surface, et en raison de la diversité des conditions climatériques qui se traduit par l'établissement de faunes et de flores régionales, il est très difficile d'introduire des divisions rationnelles dans la série tertiaire et de paralléliser ses diverses assises pour des territoires éloignés les uns des autres.

Le seul moyen exact que l'on possède pour fixer l'âge de ces dépôts, et par suite leur équivalence, repose sur la comparaison de leur faune avec celle des mers voisines dont on peut admettre qu'ils ont fait partie. Plus le dépôt considéré a d'espèces encore vivantes dans la mer à laquelle on le rattache, plus il est récent.

C'est à l'aide de ce principe que Lyell a divisé le groupe tertiaire en trois systèmes : l'*éocène*, [1] dont la faune malacologique renferme d'après lui 3 à 4 p. 100 de coquilles actuelles, le

1. Εως, aurore ; καινος, récent.

miocène,[1] où ce rapport est de 17 à 20 p. 100, et le *pliocène*,[2] où il est de 40 à 50 p. 100 et au-delà.

Il faut observer toutefois que ces chiffres n'ont rien d'absolu, car ils changent pour chaque découverte nouvelle et il est le plus souvent très difficile d'identifier les espèces vivantes avec les espèces fossiles.

Plusieurs géologues ont introduit entre les deux premiers systèmes un système intermédiaire formé à leurs dépens et auquel ils donnent le nom d'*oligocène*.[3] Mais la nécessité de cette complication ne nous paraît pas suffisamment démontrée, et, à l'exemple du service de la Carte géologique de la France, nous conserverons l'ancienne division en donnant toutefois à l'éocène une extension moins grande que celle que lui attribuait Lyell et réunissant ses deux assises supérieures au miocène. Cette classification a le mérite, au moins pour l'Europe, de concorder avec deux grands faits, le principal soulèvement des Pyrénées et celui des Alpes, qui se placent respectivement à la fin de l'éocène et à la fin du miocène.

786. Distribution géographique. — Le groupe tertiaire est un de ceux qui occupent le plus fréquemment le fond des grandes plaines. C'est à cette circonstance qu'il doit le privilège de former le sol sur lequel reposent la plupart des capitales et des grandes villes de l'Europe : Paris, Londres, Bruxelles, Berlin, Vienne, Turin, Rome.

Le système éocène se développe autour de Paris et se poursuit au nord en Belgique et au nord-ouest en Angleterre. On le trouve encore en France dans le bassin hydrographique de la Gironde, dans celui du Rhône, et en petits lambeaux sur des massifs anciens comme l'Armorique et l'Ardenne. Dans la région des Pyrénées et des Alpes, il se présente avec un faciès spécial qui se reproduit dans toutes les contrées qui entourent la Méditerranée. Ce terrain existe aussi sur le versant atlantique de l'Amérique du Nord, dans les Montagnes Rocheuses, dans l'Inde, etc.

1. Μειον, moins.
2. Πλειον, plus.
3. Ολιγος, peu.

Le système miocène occupe de plus vastes étendues que le précédent, dans toute la partie méridionale du bassin de Paris, sur la plus grande partie du bassin pyrénéen et en divers points du bassin méditerranéen. Il s'étale habituellement, en couches horizontales ou redressées, au pied des grandes chaînes comme les Pyrénées, les Apennins, les Alpes, les Carpathes, le Caucase, l'Himalaya. Il se montre avec un développement notable dans l'Allemagne du Nord, l'Autriche, etc.

Quant au pliocène, c'est le moins répandu des trois systèmes tertiaires et ses affleurements n'ont généralement qu'une extension relativement faible. Son plus grand développement connu a lieu autour de la Méditerranée et des autres mers qui s'y rattachent.

§ II.

CARACTÈRES DE LA PÉRIODE ÉOCÈNE.

787. Conditions physiques. — La mer, qui avait presque entièrement abandonné le bassin de Paris à la fin de la période crétacée, y reparaît dès le début de l'ère tertiaire ; elle fait bientôt place à des eaux douces en se retirant vers l'est, puis elle revient envahir son ancien domaine. Cette lutte entre l'Océan et la terre ferme se termine enfin par l'établissement d'un grand lac.

Des envahissements et des retraits successifs de la mer se produisent encore dans d'autres régions. Mais les choses se passent différemment dans le bassin de la Méditerranée, où la grande extension du calcaire à nummulites montre que l'élément marin a conservé longtemps la prédominance. A cette époque, la mer Méditerranée était quatre à cinq fois plus étendue qu'elle ne l'est actuellement.

Sous l'influence de cette mer chaude, qui touchait au tropique vers le sud, la température de l'Europe s'élève et la végétation prend un faciès africain.

788. Faune. — *Vertébrés.* — Les marsupiaux nous offrent quelques genres carnivores comme le *Plagiaulax* et le *Didelphis* et d'autres genres à caractères mixtes. Mais les vrais pachydermes ne tardent pas à l'emporter et sont représentés notamment par le *Palæotherium*, le *Lophiodon*, l'*Anoplotherium*, les deux premiers imparidigités et le dernier paridigité, qui sont devenus célèbres comme ayant fourni à Cuvier les faits fondamentaux d'où la paléontologie est sortie.

Le *Palæotherium*[1] (fig. 464) était un des animaux les plus

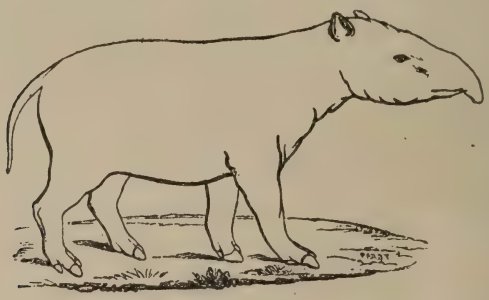


Fig. 464. — *Palæotherium magnum.*

répandus à l'époque où se formait le gypse des environs de Paris. Il ressemblait au tapir par sa forme générale et par la petite trompe flexible qu'il portait sur le nez ; mais il tenait en même temps du rhinocéros par ses dents mâchelières et par ses pieds, tous les quatre divisés en trois doigts, tandis que le tapir a quatre doigts aux pieds de devant. Cet animal vivait par troupes nombreuses sur les rivages des fleuves et des lacs ; sa taille oscillait entre celle du lièvre et celle du cheval.

Le *Lophiodon*[2], qui était encore très voisin du tapir par ses molaires, avait de longues canines.

L'*Anoplotherium*[3] (fig. 465), très abondant dans les marnes à gypse de Montmartre, où on en a retrouvé des squelettes presque entiers, avait des affinités avec le rhinocéros, le

1. Παλαιός, ancien ; θηρίον, animal.

2. Λοφια, crête ; οδων, dent ; parce que les denticules de cet animal, comme ceux du tapir, se réunissent pour former des crêtes transverses.

3. Ανοπλός, sans défense.

cheval, l'hippopotame, le cochon et le chameau. Il possédait deux caractères qui ne s'observent dans aucun autre animal : des pieds à deux doigts et des dents en série continue que

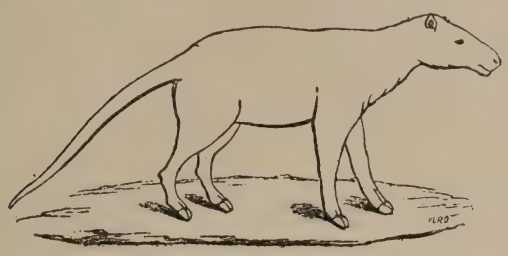


Fig. 465. — *Anoplotherium commune.*

n'interrompait aucune lacune. L'homme seul a des dents ainsi contiguës les unes aux autres sans intervalle vide. La longueur du corps de l'*Anoplotherium* était à peu près la même que celle d'un âne de taille moyenne ; il avait une énorme queue qui lui permettait de se porter, comme la loutre, dans les lieux marécageux.

Fig. 466. — *Xiphodon gracilis.*

Les ruminants n'arrivent qu'assez tard avec le *Xiphodon*[1] (fig. 466), à formes élancées comme celles de l'antilope, qui conserve quelques caractères propres aux pachydermes, parmi lesquels on pourrait encore à la rigueur le ranger.

1. Ξιφος, épée ; οδων, dent ; pour rappeler la disposition tranchante des prémolaires,

Les solipèdes n'existent pas en Europe ; mais en Amérique ils présentent toute une série de genres précurseurs du cheval. On trouve également dans l'éocène supérieur de cette région les restes d'un animal très curieux, le *Dinoceras*[1], qui portait trois paires de cornes de forme bizarre, dont les jambes ressemblaient à celles de l'éléphant et qui rappelait en outre le tapir et le rhinocéros ; c'est une forme de passage entre les vrais pachydermes et les proboscidiens.

De grands oiseaux marcheurs comme les autruches, mais de taille plus grande et de caractères différents, se montrent dès le début de l'éocène. Tel est le *Gastornis* de Meudon, oiseau de formes massives, qui hantait un lac situé sur l'emplacement même de Paris.

Les reptiles ne diffèrent plus autant des formes actuelles. Cependant un saurien, le *Simædosaurus*, se rattache aux reptiles secondaires par ses vertèbres biplanes.

Les poissons sont abondants et sont surtout représentés par les familles des raies et des squales. Certaines couches sableuses sont parfois pétries des dents de ces derniers (fig. 467 et 468).

Fig. 467.
Carcharodon heterodon.

Fig. 468.
Otodus obliquus.

Articulés. — Les insectes tertiaires ont parfois été conservés par l'ambre jaune ou succin, qui découlait des conifères de cette époque et qui les a complètement englobés, en sorte

1. Δεινος, redoutable ; κερας, corne.

qu'on peut les étudier dans tous leurs détails. On a reconnu qu'ils avaient la même organisation que les insectes actuels. Il y avait alors des représentants de tous les ordres aujourd'hui connus et en particulier des papillons, qui paraissent être le groupe d'insectes le plus récent.

Mollusques. — L'ordre des gastéropodes est le plus florissant de tous, grâce à la grande étendue des dépôts littoraux, et se signale par la belle conservation de ses coquilles, très voisines des formes actuelles. Il comprend notamment de nombreuses espèces de *Cerithium* (fig. 473-475), à coquille allongée et turriculée, qui s'ouvre par une bouche oblongue terminée en avant par un canal court et en arrière par une gouttière ; *Melania* (fig. 470), à bouche ovale un peu rétrécie en arrière, à labre renversé en avant ; *Voluta*, dont la coquille est ordinairement oblongue ou ventrue, à spire déprimée, à dernier tour très grand, à bouche allongée et fortement échancrée ; *Nerita* (fig. 472), qui a une coquille épaisse semi-globuleuse, à spire à peine saillante, à bouche semi-circulaire, ordinairement dentée ; *Terebellum* (fig. 478), dont la coquille lisse et enroulée a une spire courte et pointue et une ouverture étroite ; *Fusus* (fig. 479), à coquille fusiforme avec spire bien distincte, assez développée ; *Turritella* (fig. 477), dont la coquille turriculée, allongée, a une bouche ronde ou quadrangulaire.

Parmi les gastéropodes d'eau douce ou terrestres nous citerons les genres suivants, déjà signalés dans les périodes précédentes : *Limnæa* (fig. 481), à coquille mince, allongée, dont le dernier tour est très grand et plus ou moins ventru, la bouche plus longue que large ; *Physa* (fig. 469), très voisin des limnées dont il se distingue par son enroulement en sens contraire et son test poli et luisant ; *Planorbis* (fig. 480), à coquille enroulée dans le même plan ; des genres nouveaux tels que *Cyclostoma* (fig. 482), enroulé en spirale, à bouche ronde ; *Helix*, représenté actuellement par l'escargot, etc.

Les bivalves abondent également. Tels sont : *Cardita* (fig. 483), dont la coquille arrondie ou oblongue, inéquilatérale, ordinairement épaisse, est ornée de côtes rayonnantes et montre des impressions musculaires très nettes ; *Cardium* (fig. 484), à coquille régulière, subcordiforme, avec crochets proéminents ;

Crassatella, à coquille équivalve, épaisse, tronquée en arrière ; *Cyrena* (fig. 471), coquille fluviatile arrondie ou triangulaire, dont la charnière a toujours trois dents sur chaque valve.

Quant aux céphalopodes et aux brachiopodes, ils ne jouent plus qu'un rôle effacé. Dans le premier de ces deux ordres, les nautilides sont la famille la plus fréquente.

Zoophytes. — Les foraminifères pullulent dans les mers éocènes sous la forme de *Nummulites* (fig. 486 et 487), à test ressemblant à une pièce de monnaie, ordinairement bombé au centre, de quelques millimètres à 4 ou 5 centimètres de diamètre, dont la section horizontale montre une courbe spirale à tours nombreux, laissant entre eux des intervalles divisés en loges par une multitude de cloisons ; *Operculina* (fig. 492), plus plat que les nummulites et dont la section transversale ne présente pas de tours embrassants ; *Alveolina* (fig.494) ou *Melonia*, ayant la forme d'un petit melon dont les côtes seraient ornées de stries horizontales ; *Orbitolites*, aplati, à loges disposées concentriquement, etc.

789. Flore. — La flore éocène n'est tout d'abord qu'une continuation de la végétation crétacée. On y trouve un mélange de quelques types tropicaux avec d'autres appartenant à notre zone tempérée ; les forêts sont composées de lauriers, de conifères, d'aulnes, de peupliers, etc., auxquels ne tarde pas à se mêler la forme, nouvelle alors, du chêne.

Mais bientôt, par suite d'une recrudescence de la chaleur, qui coïncide avec l'établissement de la mer nummulitique, le continent européen se peuple d'espèces offrant de grandes affinités avec celles de l'Afrique et de l'Asie australe. La végétation devient riche, variée et vivace ; des *Dracæna* occupent le bassin de Paris, de vrais palmiers croissent dans le Velay.

Les plantes aquatiques sont particulièrement nombreuses, ce qui concorde avec les faits qui placent dans la période éocène des lacs étendus et de vastes baies marines. Les algues croissent en abondance dans les mers ; les eaux douces se remplissent de naïades, de *Chara* (fig. 488), etc.

790. Divisions du système éocène. — Le système éocène

a été divisé par Alcide d'Orbigny en deux étages, dont les dénominations ont été empruntées au bassin de Paris, devenu classique dès le commencement du siècle par les belles études de Cuvier et de Brongniart :

2. Étage parisien.
1. Étage suessonien.

L'*étage suessonien* tire son nom de *Suessiones*, nom latin de Soissons. Ses principaux fossiles caractéristiques sont : *Physa gigantea* (fig. 469), grande coquille sur laquelle on constate sept tours dont le dernier forme les deux tiers de la longueur totale ; *Melania inquinata* (fig. 470), à 10 ou 11 tours de spire, séparés par une suture superficielle et dont chacun présente une rangée de tubercules saillants ; *Cyrena cuneiformis* (fig. 471), de forme vaguement triangulaire ; *Nerita conoïdea* (fig. 472), plate en dessous et conique en dessus comme un cabochon, à surface extérieure revêtue d'une couche corticale luisante ressemblant à un vernis.

Fig. 469.
Physa gigantea.

Fig. 472. — *Nerita conoïdea.*

Fig. 471. — *Cyrena cuneiformis.*

Fig. 470.
Melania inquinata.

L'*étage parisien*, très bien représenté dans les environs de Paris, a pour fossiles principaux : *Cerithium giganteum* (fig. 473), grande coquille dépassant souvent 50 centimètres de longueur et 20 centimètres de grosseur ; *C. hexagonum* (fig. 474), à section hexagonale ; *C. lapidum* (fig. 475), à tours convexes et lisses ; *C. mutabile* (fig. 476), coquille élégante, à stries granuleuses ; *Turritella imbricataria* (fig. 477), allongée, assez étroite, dont les tours semblent imbriqués les uns dans les autres de manière à rappeler la forme d'un tire-fond ; *Terebellum fusiforme* (fig. 478), qui ressemble à un fuseau ; *Fusus Noe* (fig. 479), dont la spire à neuf tours est ornée de côtes longitudinales ; *Planorbis rotundatus* (fig. 480), coquille plate en dessus et concave en dessous, avec tours de spire très réguliers ; *Limnæa longiscata* (fig. 481), très lisse, à 7 ou 8 tours de spire assez rapprochés ; *Cyclostoma mumia* (fig. 482), à tours striés, peu bombés ; *Cardita planicosta* (fig. 483), à côtes rayonnantes aplaties ; *Cardium porulosum* (fig. 484), dont le bord est profondément découpé en dentelures ; *Turbinolia elliptica* (fig. 485), petit polypier très caractéristique ; diverses espèces de nummulites, *N. planulata* (fig. 486), de la dimension d'une lentille, *N. lævigata*, comparable à un centime, *N. variolaria* (fig. 487), de très petite dimension ; *Chara medicaginula*,

Fig. 473.
Cerithium giganteum.

Fig. 474.
Cerithium hexagonum.

Fig. 477.
Turritella imbricataria.

Fig. 479.
Fusus Noe.

Fig. 475.
Cerithium lapidum.

Fig. 478.
Terebellum fusiforme.

Fig. 481.
Limnæa longiscata.

Fig. 476.
Cerithium mutabile.

Fig. 480.
Planorbis rotundatus.

Fig. 482.
Cyclostoma mumia.

Fig. 483. — *Cardita planicosta.*

dont les sporanges[1] et la tige sont représentés par la figure 488.

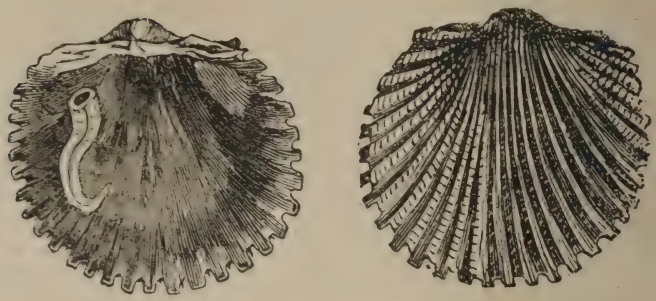


Fig. 484. — *Cardium porulosum.*

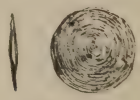


Fig. 486.
Nummulites planulata.

Fig. 485.
Turbinolia elliptica.

Fig. 487.
Nummulites variolaria.
(A gr. nat., B grossie)

Fig. 488.
Chara medicaginula.

§ III.

SYSTÈME ÉOCÈNE DANS LE BASSIN DE PARIS.

791. Généralités. — Au moment où commence l'ère tertiaire, le bassin de Paris, en grande partie comblé, se réduit à un golfe qui s'ouvre au nord, d'un côté dans la Manche, de l'autre dans la Flandre orientale. Les dépôts qui vont achever

1. Réceptacles de la graine.

de le remplir se séparent très nettement par leurs caractères pétrographiques de la craie sur laquelle ils reposent en stratification discordante. Aux calcaires terreux du crétacé succèdent en effet des roches toute différentes, d'abord des sables et des argiles, puis des calcaires grossiers, compacts, siliceux, marneux, des marnes et du gypse. Il est peu de terrains sédimentaires qui aient été étudiés avec un soin aussi minutieux que l'éocène parisien ; on l'a détaillé pour ainsi dire feuillet par feuillet et on a pu se rendre compte de l'infinie variété des couches de formation marine, lacustre, saumâtre ou fluviatile qui le constituent, en témoignant, par leurs nombreuses alternances, des oscillations fréquentes auxquelles a été soumis le bassin.

Les couches éocènes disparaissent au sud et au sud-ouest de Paris sous le miocène. Au nord-ouest et au nord, toutes les vallées sont creusées dans la craie et on ne voit sur les plateaux que des lambeaux isolés qui établissent la transition à l'éocène anglais. Ce n'est que dans la région orientale du bassin que ce terrain constitue une masse continue, qui a pour limite une ligne ondulée passant par ou près Laon, Reims, Epernay, Montereau, et le long de laquelle sa bordure meuble, enlevée par des agents atmosphériques et des érosions, a été remplacée par un fossé ou tranchée, à pente douce du côté de la plaine crayeuse, à pente rapide de l'autre.

L'escarpe de ce fossé constitue ainsi une sorte de falaise, entaillée par des échancrures profondes où coulent l'Oise, l'Aisne, la Vesle, la Marne, la Seine, et qui montre sur sa paroi les tranches des premières couches tertiaires. En la gravissant, pour nous diriger ensuite vers la capitale, nous rencontrons toute la série des assises éocènes, qui se succèdent dans l'ordre indiqué par le tableau suivant :

II. Etage parisien....	7. Assise du gypse. 6. Calcaire lacustre de Saint-Ouen. 5. Sables de Beauchamp. 4. Calcaire grossier.
I. Etage suessonien..	3. Sables du Soissonnais. 2. Argile plastique et lignites. 1. Sables de Bracheux et Châlons-sur-Vesle.

Avant d'aborder l'examen détaillé de cette série, nous ferons remarquer que les couches perméables y alternent à plusieurs reprises. C'est grâce à cette heureuse circonstance que le bassin de Paris se trouve pourvu de plusieurs nappes aquifères, dont les eaux s'écoulent en sources abondantes sur les flancs ou dans le fond des vallées ; de toutes ces nappes, la plus importante est celle qui repose sur l'argile plastique. De plus, par suite de la disposition des couches en cuvettes emboîtées les unes dans les autres, ce bassin est éminemment propre à la création des puits artésiens. Sans parler des nappes très profondes comme celle des sables verts, les niveaux tertiaires alimentent d'eaux jaillissantes un grand nombre de puits, dont la profondeur varie habituellement de 10 à 30 mètres.

Les deux systèmes crétacé et éocène sont séparés par une discordance prononcée. La craie, émergée pendant un temps plus ou moins long, a subi de fortes érosions, et les premiers sédiments tertiaires ont servi à niveler les inégalités de sa surface, sans y parvenir toutefois complètement, car la roche crayeuse apparaît encore sous forme de bosses en quelques points.

1. ÉTAGE SUESSONIEN.

792. Sables de Bracheux. — Ce sous-étage, dont le type a été pris à Bracheux (Oise), atteint le maximum de son développement à Châlons-sur-Vesle (Marne), au point où la Vesle pénètre dans le massif tertiaire. Là il n'a pas moins de 40 mètres d'épaisseur.

A la base est une marne gris blanchâtre à petits cailloux noirâtres avec *Cyprina scutellaria*. Au-dessus viennent des bancs de grès, des couches de sable quartzeux de diverses nuances et de nouveaux bancs de grès. Au milieu de ces sables apparaissent des cordons coquilliers offrant une très grande variété de fossiles, mais dont la fragilité est telle qu'on ne peut les étudier qu'après les avoir consolidés au moyen du silicate de potasse. Ce sont notamment *Cucullæa crassatina*, *Ostrea Bellovacina*, *Pectunculus terebratularis*, etc.;

quelques espèces d'eau douce sont mélangées aux espèces marines.

Ce sous-étage n'est pas très régulier et subit de grandes modifications dans toute l'étendue du bassin de Paris. A Rilly-la-Montagne, il se réduit à des sables blancs très peu fossilifères, renfermant à la base des galets de quartz et surmontés par une assise de marne et calcaire marneux.

Les sables de Rilly, qui sont formés de grains anguleux de quartz, sont d'une pureté absolue et d'une blancheur éblouissante. Ils n'existent que dans un petit nombre de localités, où ils sont toujours placés à la partie supérieure des sables de Châlons-sur-Vesle et où on les exploite par travaux souterrains pour la fabrication du cristal.

Les calcaires marneux de Rilly, dont la puissance est de 4 à 5 mètres, sont une formation lacustre, ainsi qu'en témoignent les fossiles que l'on y rencontre (*Physa gigantea*, *Cyclostoma Arnoudi*, etc.). Plus loin au sud, à Sézanne, le dépôt correspondant est un travertin assez dur, exploité pour l'empierrement des routes, qui est rempli de cavités et de tubulures sinueuses et renferme une prodigieuse quantité d'empreintes végétales. Parmi les plantes de cette époque, nous citerons la vigne, qui vivait déjà en Champagne, mais qui, ainsi que l'a fait ressortir M. Lemoine, s'éloigne par ses feuilles (fig. 489) du type actuel de ce pays et rappelle d'une façon indubitable les vignes américaines ; on peut en conclure qu'il y avait alors des relations de continuité entre la France et l'Amérique.

Fig. 489.
Vitis Sezannensis.

Le travertin de Sézanne, adossé à une falaise crayeuse, s'est déposé dans un ancien lac où arrivaient des sources incrustantes qui, du haut de cette falaise, se précipitaient en cascades. Dans ces eaux ruisselantes vivaient de nombreux insectes, des crustacés, des mollusques, qui, saisis par l'incrustation, nous ont légué tous les détails de leur organisation externe (n° 539).

Dans l'Aisne, près de la Fère, les sables sont glauconifères comme à Bracheux et mêlés d'un peu de calcaire et d'argile. Ils s'agglomèrent parfois en un grès tendre ou *tuffeau*, qui constitue dans toute cette région un excellent niveau d'eau.

A Meudon, près de Paris, le sous-étage inférieur du suessonien consiste en marnes blanches, onctueuses, qui renferment à la base des nodules de calcaire dur paraissant provenir de la destruction d'un ancien calcaire marin, et à la partie supérieure des concrétions avec fossiles semblables à ceux de Rilly.

793. Argile plastique. — Le sous-étage de l'argile plastique a déjà plus de régularité que le précédent. Il s'étend sans interruption tout le long de la falaise orientale et on le trouve, jusqu'à une assez grande distance, sur les flancs ou dans le fond des vallées qui traversent le massif tertiaire. Son épaisseur, assez inégale, peut atteindre une cinquantaine de mètres.

Il débute par une sorte de conglomérat à rognons calcaires avec ciment argileux et sableux sans consistance. C'est à ce niveau que M. le docteur Lemoine a recueilli un si grand nombre de débris de vertébrés. Les mammifères qu'on y rencontre offrent un intérêt tout spécial, car ce sont les premiers types bien authentiques de cette classe, et la complexité de leurs caractères est des plus prononcées. C'est surtout à Cernay qu'ont été faites les découvertes les plus curieuses.

Au-dessus de cette assise apparaissent des argiles et des glaises souvent sableuses, avec *Cyrena cuneiformis*, *Melania inquinata*, *Cerithium funatum*, etc. Dans ces argiles sont intercalés des bancs de lignite, souvent très chargés de pyrites, appelés vulgairement *cendres noires* et séparés les uns des autres par des lits minces de glaises charbonneuses et de marnes coquillières. A la partie supérieure, il y a des lits de sables diversement colorés ou de grès et quelquefois des calcaires plus ou moins bitumineux.

Les amas de lignite sont discontinus ; ils sont surtout développés dans le Soissonnais où on les a utilisés pour la fabrication de l'alun et de la couperose. On les emploie encore, à la

manière des cendres liasiques de Flize, pour l'amendement des prairies et des vignobles. L'exploitation de ces cendres remonte, d'après d'Archiac, à une date très reculée ; elle se fait à ciel ouvert ou par travaux souterrains, souvent très étendus, puisque certaines galeries d'extraction ont plusieurs centaines de mètres de longueur.

C'est la combustion spontanée d'un de ces bancs de lignite pyriteux qui a causé le grave accident survenu le 18 août 1884 dans le tunnel de Braye-en-Laonnois. Par suite des difficultés que présentait la traversée des sables aquifères superposés à l'argile, on avait été conduit à employer l'air comprimé pour continuer l'exécution de ce tunnel sur les 315 mètres qui restaient à faire. Les travaux ayant disloqué les couches, les lignites se sont désagrégés et sont devenus accessibles à l'air comprimé dont l'excès s'échappait le long de l'extrados de la voûte. La pyrite s'est oxydée en produisant une élévation de température suffisante pour faire prendre feu aux lignites et les gaz, se répandant dans les vides souterrains, ont asphyxié 17 ouvriers. Il était impossible de prévoir une semblable catastrophe, qui, à notre connaissance, est unique dans son genre ; mais il s'en dégage un enseignement qui ne doit pas être perdu.

Dans les environs de Paris, l'argile plastique est moins bien représentée que dans l'est. Toutefois elle présente des faits intéressants, notamment à Meudon, où on constate à sa base un conglomérat analogue à celui de Cernay et contenant de nombreux débris d'ossements. C'est là qu'a été trouvé le premier *Gastornis*.

A Vaugirard, l'argile est exploitée pour la fabrication des tuiles et des tuyaux ; elle se divise en deux couches, les *glaises* et les *fausses glaises*, ces dernières plus sableuses, séparées l'une de l'autre par un sable quartzeux fin et lignitifère.

C'est surtout à l'ouest de Paris, sur le plateau crayeux entre Houdan et Dreux, que se présente l'argile plastique proprement dite, remarquable par sa blancheur, sa plasticité, son infusibilité et recherchée pour la fabrication de la faïence et même de la porcelaine. On l'exploite aussi pour le même

usage à Montereau, où elle occupe des dépressions de la craie, avec un conglomérat de gros silex roulés à sa base ; elle est bariolée de teintes vives dues à des matières organiques, et elle est parfois mélangée de sables granitiques. Cette circonstance a fait penser à plusieurs géologues qu'elle devait avoir une origine hydrothermale.

Comme toutes les couches glaiseuses, l'argile plastique se maintient mal dans les travaux qui l'entament. On s'en est aperçu notamment lors de la construction du chemin de fer de Paris à Versailles (rive gauche) qui, sur une partie de sa longueur, est une suite continuelle de tranchées profondes et de remblais élevés. Le passage qui a donné lieu aux plus grandes difficultés est celui du Val-Fleury à Meudon ; on avait projeté de raccorder les culées du viaduc avec les tranchées voisines au moyen de remblais pleins de 30 mètres de hauteur ; mais on constata que le sol naturel ne pouvait en supporter le poids, qu'il se produisait des tassements et des glissements, et il fallut modifier le projet.

En présence des difficultés et des dangers qu'offrent les terrains de cette nature, il est prudent de diriger les travaux de manière à les éviter le plus possible. La considération de l'égalité des remblais et des déblais, qui guide souvent dans le tracé des voies de communication, n'a plus qu'une importance secondaire et doit être sacrifiée.

794. Sables du Soissonnais. — Ce sont des sables fins, siliceux, micacés, glauconieux, de couleurs variées, agglutinés parfois de manière à former des grès plus ou moins cohérents. On y trouve quelques lits minces de calcaire ou de glaise, quelquefois un peu ligniteuse, et des rognons épars de calcaire magnésien, ou *têtes de chat*.

Ces sables sont dépourvus de fossiles dans la montagne de Reims. Dans la vallée de la Vesle, les coquilles commencent à y apparaître ; plus loin elles sont en nombre prodigieux. Les fossiles les mieux conservés se trouvent dans les sablières de Cuise-la-Motte près de Pierrefonds.

Certains bancs sont littéralement pétris de cette petite nummulite appelée *Nummulites planulata*, qui a fait donner au

sous-étage le nom de *sables nummulitiques*. On peut citer encore le *Nerita conoïdea*, qui est si caractéristique qu'on le retrouve dans l'Inde au même niveau. Au point de vue pratique, il est intéressant de remarquer que les fossiles des sables du Soissonnais ont une teinte blonde qui les fait distinguer sans peine des fossiles des autres assises.

Les grès cohérents sont employés pour la confection des pavés, et les sables pour la fabrication du mortier et du verre à bouteille.

Dans le Soissonnais, les sables nummulitiques, dont l'épaisseur est de 60 à 80 mètres, sont entamés par de nombreux vallons, qui ne sont parfois séparés que par une étroite langue de terre recouverte de calcaire grossier, et dont le fond est formé par l'argile plastique. Toutes les eaux qui traversent cette grande masse sableuse donnent naissance à une nappe aquifère abondante sur l'argile, et une seconde nappe, moins importante toutefois, se trouve à la base des calcaires marneux par lesquels commence le calcaire grossier du Soissonnais. Aussi, dans toute cette région, les pentes des vallées, assez douces d'ailleurs, sont bien arrosées et garnies d'une abondante végétation, dont le développement est encore favorisé par une proportion convenable d'argile dans le sable.

Les sables suessoniens, qui dans le Vermandois couronnent çà et là les plateaux crayeux, sous forme de petits îlots, sont assez argileux pour déterminer des niveaux d'eau. On les reconnaît de loin aux groupes d'habitations entourées de peupliers qui les recouvrent, tandis que les vallons sont d'une sécheresse et d'une aridité à peu près complètes.

2. ÉTAGE PARISIEN.

795. Subdivisions du calcaire grossier. — Le sous-étage du calcaire grossier est un ensemble très varié de couches à texture généralement grossière, avec de nombreux foraminifères. Michelot le subdivise de la manière suivante :

IV. Caillasses.	12.	Caillasses sans coquilles.	0,m60 à 6,m00
	11.	Caillasses coquillières...	0, 50 à 2, 00
III. Calcaire grossier supérieur.	10.	Roche de Paris.....	0, 25 à 1, 00
	9.	Banc franc de Paris....	1, 00 à 4, 00
	8.	Cliquard.....	0, 60 à 4, 00
	7.	Banc vert.....	1, 00 à 6, 00
	6.	Banc Saint-Nom.....	0, 50 à 1, 00
II. Calcaire grossier moyen.	5.	Banc royal.....	0, 30 à 1, 00
	4.	Vergelés et lambourdes.	1, 00 à 10, 00
I. Calcaire grossier inférieur.	3.	Banc à verrains.....	0, 60 à 6, 00
	2.	Banc Saint-Leu.....	2, 00 à 10, 00
	1.	Banc à nummulites.....	1, 00 à 12, 00

Il n'y a presque aucune localité où ce sous-étage soit au complet. En général, son épaisseur totale ne dépasse pas 25 mètres, chiffre qui se trouve atteint entre Mantes et Laon.

796. Calcaire grossier inférieur. — Le calcaire grossier inférieur commence par une couche mince remplie de galets quartzeux qui lui donnent une apparence poudingiforme. Outre de nombreuses dents de squale, elle renferme ce petit polypier désigné sous le nom de *Turbinolia elliptica.*

Au-dessus vient une autre couche caractérisée par des *lunulites,* sorte de petit polypier en forme de dé à coudre, à laquelle succède un banc dur rempli de gros bivalves, notamment *Cardium porulosum* et *C. hippopeum.*

Le lit à nummulites, qui donne son nom à toute l'assise et qui repose sur le banc à bivalves, est surtout développé dans le Soissonnais et le Laonnais. C'est une pierre très tendre à Bris, au nord de Laon ; mais on en fait au contraire de solides matériaux de construction sur d'autres points, comme à l'Isle-Adam, au mont Ganelon près de Compiègne, où les ouvriers l'appellent *pierre à liards* à cause de la ressemblance avec une pièce de monnaie des nummulites qui y abondent et dont la principale est *Nummulites lævigata.*

Près de Paris, à Vaugirard, l'assise n'est plus représentée que par une couche sableuse, de quelques centimètres à peine, qui repose immédiatement sur l'argile plastique.

Banc Saint-Leu. — Ce banc, très développé à Saint-Leu près de Creil (Oise), consiste en une pierre fine et grasse, d'une

teinte jaune, où de nombreux moules de coquilles sont fondus dans la masse. Cette pierre, très tendre, mais très durable quand elle a ressuyé son eau de carrière, donne de très bons matériaux de construction. On l'exploite à Saint-Leu, où la masse a 8 mètres de puissance, à Saint-Maximin, à Pont-Saint-Maxence, et dans d'autres localités de la vallée de l'Oise.

Le banc de Saint-Leu a moins d'importance dans le reste du bassin et son aspect y est souvent tout autre. C'est ainsi qu'à Carrières-Saint-Denis, il est représenté par 2 mètres environ de plaquettes rougeâtres et glauconieuses d'un calcaire dur, alternant avec des couches sableuses. A l'Isle-Adam, c'est une pierre fine et dure connue sous le nom de *roche des Forgets*. A Liancourt près de Gisors (Eure), les lits sableux qui alternent avec les bancs solides sont remplis de fossiles bien conservés, notamment de *Lucina gigantea*. Notons encore qu'à Pont-Saint-Maxence le calcaire se transforme par places, immédiatement sous le banc à verrains, en un sable assez dolomitique pour avoir servi à la fabrication du carbonate de magnésie.

Banc à verrains. — Dans toutes les localités que nous venons de citer, le banc Saint-Leu est couronné par des bancs solides et très coquilliers à *Cerithium giganteum*, *Turritella imbricataria*, *Crassatella tumida*, *Cardita planicosta*, etc. Ces bancs se nomment *Saint-Jacques* à Paris, *turlu* à Saint-Leu ; dans l'Aisne et dans l'Oise on les appelle *bancs à verrains*, du nom que les ouvriers donnent aux nombreux moules de *Cerithium giganteum* qui s'y trouvent.

Les bancs à verrains sont très développés aux environs de Crépy-en-Valois et de Villers-Cotterets, dans les cantons de Ribecourt et d'Attichy, autour de Saint-Gobain et depuis Laon jusqu'à Soissons. Ils fournissent une pierre jaunâtre, peu solide et moins estimée que le Saint-Leu. La roche de Moloy, à la Ferté-Milon, appartient encore aux bancs à verrains.

Cette assise prend une importance plus grande, en même temps qu'un tout autre aspect, vers le nord-ouest du bassin. On l'exploite à Chérence, à Vallangoujard, à Saillancourt. Dans ces dernières carrières, c'est une masse de 6 mètres d'épaisseur

d'une roche rougeâtre, grenue, composée d'éléments très divers, agglutinés par un ciment calcaire à la manière du grès. On y voit des débris de coquilles, des coquilles entières, des polypiers, des sables calcaires, des sables siliceux, des grains de quartz translucide et beaucoup de grains verts glauconieux. Outre les fossiles habituels du banc Saint-Jacques, on y trouve de nombreux oursins, des orbitolites, des dents de squale et, vers le bas, le *Turbinolia elliptica*.

Les couches à *Cerithium giganteum* se retrouvent sous le même faciès, quoique moins développées, jusqu'à Pontoise, à la carrière du chemin de fer, et l'on peut les suivre à la base des exploitations des carrières Saint-Denis et du bas Meudon.

Dans la plaine au sud de Paris, le banc Saint-Jacques est plus compact et entièrement calcaire ; mais il est criblé de moules de coquilles, parmi lesquels abondent ceux de *Crassatella tumida*. Il ne donne que des moellons et quelques libages. Au-dessous on trouve des sables glauconieux avec quelques bancs solides renfermant des nummulites, qui reposent sur l'argile plastique et représentent l'assise inférieure du calcaire grossier inférieur.

Comme on voit, le banc à verrains varie beaucoup de consistance dans l'étendue du bassin de Paris. Il en fournit les pierres les plus denses, telles que celles de Vallangoujard, pesant 2.700 kilogrammes le mètre cube, mais souvent il se trouve à l'état sableux. Tel est le cas vers la limite orientale, où il forme des sables marneux d'où l'on extrait une multitude de fossiles admirablement conservés, notamment dans les gisements célèbres de Damery, Chamery, Courtagnon (Marne).

797. Calcaire grossier moyen. — Cette assise renferme un nombre prodigieux de petits foraminifères, dits *miliolites* à cause de leur ressemblance avec des grains de millet. Elle consiste en bancs généralement peu épais, mal agrégés, parfois sableux dans l'Aisne et le Valois. C'est sur les bords de l'Oise et de ses affluents que ces bancs ont le plus d'épaisseur et de consistance.

On les désigne souvent sous les noms de *vergelés* et de *lambourdes*, qui indiquent des calcaires tendres, maigres, non gé-

lifs et durcissant à l'air. Les vergelés ont un grain plus uniforme que les lambourdes ; ils ont une coloration blanc jaunâtre et sont souvent marbrés de veines jaunes ou rougeâtres dues à des infiltrations ferrugineuses.

C'est dans la partie inférieure du calcaire grossier moyen que se trouvent les couches les plus coquillières et les plus dures, comme on l'observe à Poissy où la dureté est assez grande pour que la pierre mérite le nom de *roche de Poissy*.

Le *banc royal*, qui surmonte les vergelés dans un grand nombre de localités, est plus plein et moins grenu. On l'exploite à Conflans-Sainte-Honorine, à Neuilly, à Méry-sur-Oise, à Montrouge, à Gentilly. C'est une pierre bien homogène, d'un blanc ordinairement grisâtre, habituellement dépourvue de marbrures ; quoiqu'elle se présente en couches peu épaisses, on peut y tailler facilement de grandes pierres d'appareil.

Ce banc est ordinairement coquillier et se reconnaît à l'abondance des *Orbitolites plana, Terebellum convolutum*, *Cardium aviculare*, qu'on ne rencontre jamais au-dessus. Il renferme parfois des rognons de silex analogues à ceux de la craie, et qui peuvent arriver à se souder de manière à former des plaquettes siliceuses plus ou moins étendues dans lesquelles les fossiles sont silicifiés, comme à Pierrelaye près de Pontoise.

L'aspect général du calcaire grossier moyen est moins variable que celui des calcaires grossiers inférieur et supérieur ; les bancs y sont en général plus liés et moins distincts. Toutefois sa partie inférieure se confond souvent avec le banc Saint-Jacques qu'elle recouvre, et se transforme même, vers la lisière septentrionale du bassin, en un sable marneux d'où les fossiles se détachent parfaitement. Tels sont les beaux gisements fossilifères de Grignon, de Parnes, de Saint-Félix, de Chaumont, qui comprennent les deux assises, et ceux de Chauny et de Liancourt, qui sont spéciaux au calcaire grossier moyen.

798. Calcaire grossier supérieur. — Le calcaire grossier supérieur a reçu de Brongniart le nom de *calcaire à cérithes*, à cause de la multitude de ces fossiles que renferment certains de ses bancs. Son épaisseur est généralement peu considérable ;

il est cependant d'une composition beaucoup plus complexe que les deux autres assises. On peut le diviser en deux parties, dont la première est répandue dans toute l'étendue du bassin de Paris avec des caractères presque semblables et tout à fait singuliers.

Cette partie inférieure se compose de couches marneuses (*banc vert*) produites par le mélange de lits d'eau douce et de lits marins, intercalées entre deux bancs solides d'un calcaire entièrement marin qui se ressemblent tellement par leur aspect minéralogique et leurs fossiles qu'on ne peut les distinguer que par leur position relative. Tous deux sont d'une teinte blanche, le plus souvent coquilliers, quelquefois durs et imprégnés de silice, et fournissent les meilleures pierres de taille du bassin de Paris. Leur fossile le plus caractéristique est le *Turritella fasciata* ; on y trouve en outre les *Cerithium angulosum*, *interruptum*, *denticulatum*, *calcitrapoïdes*, et autres qui vont se multiplier dans les couches suivantes. Le banc supérieur est le *cliquard* des environs de Paris, la *roche du haut* de l'Aisne, le *liais* de Montesson et de Carrières-Saint-Denis ; l'inférieur est le *Saint-Nom*, de l'une des localités bien connues où il est le mieux caractérisé (près de Versailles), la *roche du bas* de l'Aisne, le *liais* de Vaugirard, Bagneux, Creteil.

Au-dessus de cet ensemble de couches, que nous avons décrit avec détails parce qu'il présente le repère le plus constant dans le calcaire grossier parisien, vient la partie supérieure de l'assise qui nous occupe. C'est une succession de bancs de calcaire marin plus ou moins dur, séparés par des couches de sable calcaire.

Sur le plateau méridional de Paris, ces bancs, connus sous la dénomination commune de *bancs francs*, sont tous coquilliers et renferment surtout des cérithes à spires aiguës, telles que *Cerithium denticulatum*, *cristatum*, *angulosum*, etc. Les plus coquilliers se nomment *grignards* ; on les donne comme roche quand ils sont durs, et comme bancs royals quand ils joignent à une dureté moyenne un grain plus égal, une teinte plus blanche et une plus grande hauteur d'assise. Ces bancs sont souvent gélifs, quoiqu'on les emploie beaucoup dans les constructions.

Dans les coupes complètes, les bancs francs sont recouverts par un banc plus dur, souvent assez imprégné de silice pour devenir très compact et coquillier à sa partie supérieure. Ce banc, très estimé des constructeurs parisiens, est connu sous le nom de *roche de Paris* ; il est presque épuisé dans les localités où on l'exploitait autrefois près de la capitale, Bagneux, Arcueil, Gentilly.

On retrouve les bancs francs autour de Senlis, où ils donnent la pierre dure de Mont-l'Évêque et servent à la fabrication d'une chaux estimée. Sur beaucoup de points, ils paraissent manquer entièrement, et c'est sur le cliquard que repose l'assise suivante.

799. Caillasses. — Cette assise se compose de lits minces alternatifs de marnes quelquefois magnésiennes, de calcaires compacts et de calcaires siliceux. On peut la partager en deux divisions : la première renfermant des fossiles analogues pour la plupart à ceux des bancs francs et de la roche de Paris, la seconde privée de fossiles.

C'est à la division inférieure qu'appartient le banc solide, rougeâtre, pétri de *Corbula anatina*, qu'on appelle *rochette*. Ce banc est généralement séparé de la roche de Paris par plusieurs couches de sable et de marne ; quelquefois il lui est immédiatement superposé. Il est fréquemment recouvert par une couche marneuse, appelée *pain d'épice* par les ouvriers, et d'où l'on peut retirer des têts bien conservés de *Cytherea*, de *Corbula anatina*, de *Cerithium lapidum*, etc.

Dans l'Aisne les coquilles de cet horizon sont souvent transformées en silex translucide. Toutefois il est très difficile de décider si elles appartiennent bien aux caillasses coquillières et si elles ne doivent pas être rattachées aux bancs francs.

La partie supérieure des caillasses est formée d'alternances de calcaire compact plus ou moins siliceux ressemblant tout à fait au calcaire d'eau douce, de lits d'argile brune ou verte ; de sables calcaires ou siliceux, tantôt jaunâtres, tantôt blancs, souvent concrétionnés et passant à des plaques de silex ; de marnes fissiles, qui donnent en se divisant des surfaces jaunâtres couvertes de dendrites ; de marnes grisâtres d'un aspect dolomi-

tique et susceptibles de donner des chaux très hydrauliques ; enfin, vers le haut, de calcaire crayeux très blanc appelé *tripoli de Nanterre*, à cause de l'usage qu'on en fait pour le polissage du bois. A Vaugirard, on compte jusqu'à 18 lits successifs, parfaitement distincts.

Certaines couches présentent cette particularité curieuse de renfermer du quartz ou de la chaux carbonatée avec les formes cristallines du gypse, par suite d'une épigénie (n° 237). On y trouve aussi de la fluorine en petits cubes d'un fauve clair. Cet ensemble de minéraux cristallisés permet de supposer qu'à l'époque des caillasses, des sources thermales se sont fait jour au fond de la mer tertiaire et ont produit des phénomènes de double décomposition.

Si l'assise des caillasses est intéressante pour le géologue, il n'en est pas de même pour le constructeur qui n'y trouve que rarement des matériaux utilisables.

800. Sables de Beauchamp. — Les sables de Beauchamp, ainsi nommés d'une localité située près d'Herblay (Seine-et-Oise) où ils sont bien développés, ont été reconnus de l'est à l'ouest depuis Epernay jusqu'aux limites des départements de l'Eure et de la Seine-Inférieure. Sur cette grande surface, leur épaisseur varie notablement, car tandis qu'elle peut atteindre 30 mètres autour de Beaumont, elle ne dépasse pas 11 mètres auprès de l'arc de triomphe de l'Etoile.

Cette assise est bien plus uniforme et moins complexe dans sa constitution que les précédentes. C'est une masse de sables siliceux, blancs ou verdâtres, quelquefois un peu argileux, contenant à sa partie supérieure des bancs de grès exploités pour le pavage, notamment dans les environs de Pontoise et de Senlis. Ces grès deviennent calcarifères et donnent des pierres de taille passables, d'une part à Louvres, et de l'autre à Etrépilly, Lizy-sur-Ourcq et autres communes voisines de Meaux. On observe quelquefois au-dessus des grès des couches de calcaire coquillier, mais elles sont trop peu importantes pour être exploitées.

Les sables de Beauchamp renferment un très grand nombre de fossiles marins, dont une partie leur est commune avec le

calcaire grossier. Les plus abondants sont : *Lucina saxorum*, *Cerithium mutabile*, *C. tuberculosum*, *C. tricarinatum*, *Natica mutabilis*, *Ancillaria inflata*, *Nummulites variolaria*, etc. Vers le haut, au contact du calcaire de Saint-Ouen, on observe des fossiles d'eau douce tels que *Melania hordacea*, des lymnées, des paludines et des cyclostomes.

C'est sur l'assise de Beauchamp que reposent les forêts d'Ermenonville et de Villers-Cotterets qui, par leur belle croissance, témoignent de l'utilité de l'intervention de l'eau pour fixer le sol et développer la végétation. Tandis que sur les plages découvertes les sables secs sont continuellement agités par les vents et restent stériles, ces mêmes sables, maintenus humides sur des plateaux à sous-sol peu perméable, se couvrent de bois.

Les ingénieurs qui ont été chargés de l'exécution du canal de la Marne au Rhin et du chemin de fer de Paris à Strasbourg ont eu à surmonter de sérieuses difficultés par le fait de l'extrême finesse des sables de Beauchamp et de la semi-fluidité qu'ils prennent quand ils sont mouillés. L'exemple le plus saillant est celui du tunnel de Châlifert, près de Lagny (Seine-et-Marne), commencé en 1841 pour livrer passage au canal.

Les sondages avaient fait reconnaître l'existence, à partir du sommet de la montagne, d'une épaisseur de 24 mètres de calcaire de Saint-Ouen présentant à sa base une couche de marne verdâtre aquifère, puis de 8 mètres de sables de Beauchamp et enfin de marnes formant la partie supérieure du calcaire grossier. On résolut avec raison de percer entièrement le souterrain dans ces dernières marnes. Si on avait respecté la couche de marne de Saint-Ouen, on aurait eu une excellente chape naturelle ; mais on la perça de plusieurs puits, en sorte que les eaux qu'elle supportait, se répandant au milieu des sables, les entraînèrent et créèrent des vides souterrains. Aussi il se produisit des éboulements qui déformèrent la voûte peu de temps après sa construction et l'auraient renversée complètement si on ne l'avait étayée. L'accès des eaux était également facilité d'ailleurs par une faille remplie de débris qui traversait tout le terrain. En août 1883, à la suite d'une saison très pluvieuse, ces éboulements se sont reproduits, la voûte s'est crevée en un

point et une masse considérable de sable est venue entraver la circulation.

Le tunnel de Nanteuil près de la Ferté-sous-Jouarre a été obstrué à deux reprises différentes pendant sa construction, en 1846 et 1847, par des chutes semblables de sables, et plusieurs ouvriers se sont ainsi trouvés enfermés pendant assez longtemps. C'est aussi après des pluies prolongées que ces accidents se sont produits.

801. Calcaire de Saint-Ouen. — Le calcaire de Saint-Ouen, qu'on appelle aussi *travertin inférieur*, est une formation essentiellement lacustre, dont l'épaisseur varie de 10 à 20 mètres et qui comprend des marnes avec silex résinite, des calcaires marneux et des plaquettes de calcaire dur. Ce dernier, que l'on exploite pour l'empierrement en divers points de l'Ile de France, prend plus d'importance dans le département de la Marne où il se charge de silice et passe souvent à la meulière. Dans cette dernière région, notamment près de Montchenot et de Germaine, l'assise de Saint-Ouen renferme des couches d'argile réfractaire qui donnent lieu à une importante exploitation.

Les principaux fossiles sont : *Limnæa longiscata*, *Planorbis rotundatus*, *Cyclostoma mumia*, paludines, graines de *Chara*.

802. Assise du gypse. — Cette assise a une grande importance au point de vue pratique Elle est caractérisée dans la région centrale du bassin de Paris par un minéral, le gypse, qui se trouvait déjà, mais seulement à titre d'élément accidentel, dans les assises précédentes du système éocène, et qui ici forme à lui seul des couches puissantes.

Ces couches ne sont d'ailleurs pas continues ; elles se terminent rapidement en biseau, en sorte qu'en beaucoup de points l'assise ne comprend que des bancs de marne. De plus, par suite de sa grande altérabilité sous l'action des agents atmosphériques, le gypse n'affleure nulle part ; il se trouve concentré dans une série de collines allongées suivant la direction N. E.-S. O., de Beuvarde et Villeneuve-sur-Fère (Aisne) à Longjumeau (Seine-et-Oise), et qui occupent une zone assez large.

Partout où elle a son complet développement, l'assise du gypse présente la succession de couches suivantes :

11. Marnes blanches de Pantin.
10. Marnes bleuâtres pyriteuses.
9. Première masse du gypse.
8. Marne à ménilite.
7. Marne à rognons de gypse en fer de lance.
6. Deuxième masse du gypse.
5. Marne jaune à *Lucina inornata*.
4. Troisième masse du gypse.
3. Marne à *Pholadomya ludensis*.
2. Quatrième masse du gypse.
1. Grès et sable verdâtre d'Argenteuil.

L'épaisseur totale peut atteindre 55 mètres, à Sannois par exemple.

Les sables inférieurs, parfois agglutinés en grès, renferment un assez grand nombre de fossiles appartenant pour la plupart à la faune des sables de Beauchamp avec lesquels on les a autrefois confondus, quoiqu'ils en soient séparés par toute l'épaisseur du calcaire de Saint-Ouen. Il y a eu ainsi un retour de la mer de Beauchamp par dessus ce calcaire, mais qui n'a été que de peu de durée, car les couches suivantes sont principalement lacustres ou fluviatiles. Cette couche de sable se voit à la base de la butte d'Orgemont, à Argenteuil ; on peut aussi l'étudier à Paris même, du côté du boulevard Malesherbes et des Champs-Elysées, chaque fois que des travaux de terrassement la mettent à découvert.

La *quatrième masse* gypseuse, qui est la plus profonde et la plus ancienne, est la moins constante de toutes. Elle existe par exemple à Argenteuil, où elle comprend deux bancs relativement minces de gypse assez pur et des lits marneux avec quelques cristaux de gypse. Son épaisseur totale ne dépasse pas 4 mètres.

La *troisième masse* a été longtemps regardée comme la plus ancienne et les ouvriers la désignent sous le nom de *basse masse*. Elle comprend 20 à 30 couches alternatives de gypse et de marne qui ont, vers le centre du bassin, une puissance moyenne de 10 mètres. On remarque à sa partie inférieure deux petits lits de calcaire marin, séparés par un banc de gypse qui

contient lui-même des fossiles marins ; c'est avec ce calcaire qu'on fabrique la chaux hydraulique de Corbeil.

La *deuxième masse*, qui a à peu près la même puissance que la troisième, consiste également en une alternance de marnes et de gypse grenu ou cristallisé. Les cristaux fournissent les qualités les plus pures ; les carriers les désignent sous les noms de *fers de lance*, de *grignards*, de *pieds d'alouette*. Le gypse est généralement impur et renferme en moyenne 11 pour 100 de calcaire et d'argile.

L'un des bancs de marne intercalés dans la deuxième masse est une véritable argile smectique ou *smectite*, verdâtre, marbrée, très onctueuse ; elle porte le nom vulgaire de *savon de soldat* ou *pierre à détacher*. Au même niveau se trouvent quelques rognons épars de célestine, ou strontiane sulfatée.

La *première masse* gypseuse, ou *haute masse*, est la plus constante et la plus étendue ; c'est aussi la plus épaisse, car elle a de 15 à 20 mètres. Elle se compose de gypse principalement saccharoïde divisé en plusieurs bancs auxquels les ouvriers donnent des noms particuliers, mais qui varient un peu suivant les diverses carrières. Tels sont à partir du bas les *fusils*, qui tirent leur nom de ménilite en sphéroïdes ou ellipsoïdes très aplatis, pénétrés de gypse et se fondant dans la masse d'une manière insensible ; les *piliers noirs*, gypse très compact ; les *hauts piliers*, qui se divisent en prismes verticaux ; la *petite corvée*, dans laquelle est intercalée une veine de silex de 3 à 4 millimètres ; les *fleurs*, renfermant des lits très minces de marne calcaire.

C'est dans cette masse que l'on a découvert, à Montmartre, les premiers mammifères décrits par Cuvier, le *Palæotherium*, l'*Anoplotherium*, le *Xiphodon*.

Les marnes qui recouvrent la première masse du gypse sont d'un gris bleu foncé qui ne tarde pas à disparaître par l'exposition à l'air ; elles sont très chargées de pyrite de fer.

Les marnes qui viennent ensuite sont très blanches, parfois fort épaisses, et sont recoupées par une foule de fissures dont les parois sont ordinairement revêtues de dendrites manganésées. Vers la partie supérieure elles contiennent diverses coquilles d'eau douce, entre autres le *Limnæa strigosa*. Leur

composition est très voisine de celle des calcaires marneux qu'on exploite dans le terrain jurassique pour la fabrication de la chaux hydraulique ; aussi on les applique à cet usage à Pantin et dans d'autres localités.

Origine du gypse. — On a beaucoup discuté sur l'origine du gypse. Il n'est pas probable que cette substance ait été déposée à la manière des sédiments ordinaires, ni qu'elle résulte de la transformation subie par des bancs calcaires sous l'action de sources chargées d'acide sulfurique ; dans le premier cas en effet on ne voit pas trop à quelles roches préexistantes elle aurait pu être empruntée en quantité aussi considérable, et dans le second les fossiles qu'elle empâte auraient dû être également transformés en sulfate de chaux, ce qui n'est pas.

L'hypothèse la plus vraisemblable est celle qui consiste à faire du gypse le produit d'une précipitation immédiate dans des lagunes, où débouchaient des eaux douces entraînant avec elles des débris d'animaux terrestres et où arrivaient des émanations internes. Ce serait ainsi une formation analogue à celle des dépôts sidérolithiques dont nous parlerons plus loin (n°838) et qui sont à peu près de la même époque.

803. Faciès calcaire de l'assise du gypse. — Sur la rive gauche de la Marne, à Champigny, se trouve un travertin ou calcaire siliceux tellement analogue à celui de la Brie (n° 825) qu'on l'a longtemps confondu avec lui. Quand il est calcaire, on l'exploite activement pour la fabrication d'une chaux hydraulique d'excellente qualité; dans les points où il est très siliceux, on en fait des pierres de construction ou du macadam. La silice s'y montre quelquefois sous forme de veines de calcédoine.

M. Hébert a montré que ce travertin, dont l'épaisseur est de 9 mètres, est intercalé entre les marnes à *Pholadomya lucendensis* et les marnes supra-gypseuses ; il correspond par conséquent aux masses supérieures de gypse.

Cette transformation de l'assise du gypse en travertin s'observe dans d'autres parties du bassin de Paris, aux environs de Mantes, de Chartres, de Montereau, de Montmirail, où on voit nettement sa superposition au calcaire lacustre de Saint-Ouen ou aux sables de Beauchamp. Ce sont les eaux infiltrées

dans les fissures de ce travertin et arrêtées par des marnes blanches lacustres de l'âge des sables de Beauchamp, qui donnent naissance, près de Montmirail, à la belle source de la Dhuys, captée pour la ville de Paris.

Ailleurs, notamment dans le département de la Marne, ce sont des couches puissantes de marnes, exploitées pour l'agriculture, et de glaises blanches, grises, bleues ou vertes, avec silex et couches minces de calcaire siliceux, ou d'un calcaire ressemblant assez au calcaire grossier et contenant des cérithes. Nulle part on n'y trouve de gypse. C'est sur cette assise marneuse que reposent les terres argilo-calcaires du Tardenois, très propres à la culture du blé et des fourrages artificiels.

§ IV.

TERRAIN NUMMULITIQUE.

804. Zone nummulitique méditerranéenne. — Dans les régions méditerranéennes, le système éocène est représenté par un ensemble de couches dont la plupart sont presque exclusivement remplies d'un grand nombre de nummulites ayant depuis la dimension d'une lentille jusqu'à celle d'une pièce de cinq francs. Aussi on désigne souvent cet ensemble sous le nom de *terrain nummulitique* ou *terrain à nummulites*, bien que ce nom ait l'inconvénient d'être fondé sur la présence d'un genre qui appartient également à une partie du calcaire grossier parisien.

C'est là un faciès particulier de l'éocène, qui diffère du type que nous venons d'examiner par ses allures, par sa continuité géographique et par ses fossiles.

Le terrain nummulitique accompagne généralement le calcaire crétacé à rudistes, auquel il se lie si intimement qu'il y a peu de temps encore des géologues éminents le plaçaient à la partie supérieure du groupe secondaire. Il a été relevé comme

lui et porté à de grandes hauteurs dans tous les massifs montagneux qui entourent la Méditerranée. Il est à remarquer qu'il y a passage insensible d'un système à l'autre, tandis qu'il y a presque toujours séparation nette et même discordance entre le terrain nummulitique et le miocène qui le suit.

La faune du terrain nummulitique, étudiée par d'Archiac, Leymerie et d'autres savants, présente un grand nombre d'espèces dont plusieurs lui sont tout à fait spéciales, les autres appartenant en partie au bassin de Paris. D'Archiac n'a pas décrit moins de 52 espèces de nummulites. Sauf en quelques points du poudingue qui termine ce terrain, on n'a trouvé aucun de ces mammifères si constants et si caractéristiques de l'éocène parisien.

Le synchronisme des diverses assises du terrain nummulitique avec celles du bassin de Paris est très difficile à préciser. Tout ce que l'on peut dire d'une manière à peu près certaine, c'est qu'elles correspondent pour la plus grande partie au calcaire grossier et aux sables de Beauchamp.

Le terrain nummulitique occupe à peu près les mêmes régions que le calcaire à rudistes méditerranéen. Il semble sortir de l'Océan sur les côtes du golfe de Gascogne, près de Biarritz, pour s'étendre à l'est sur les deux versants des Pyrénées. Immédiatement après cette chaîne, on n'en trouve plus aucune trace sur tout le littoral méditerranéen jusqu'à Nice ; ce qui tient à ce que la mer nummulitique n'atteignait pas cette contrée qui était alors occupée par de grands lacs. Puis il pénètre dans les massifs des Alpes et des Apennins, à la constitution desquels il prend une grande part, et s'étale ensuite plus ou moins largement autour de la Méditerranée, des Alpes aux Carpathes, dans les Balkans, dans les montagnes de la Grèce, de la Turquie et de l'Asie-Mineure, en Egypte, où on l'a exploité près du Caire pour la construction des pyramides, en Algérie, au Maroc et sur les côtes d'Espagne aux environs d'Alicante et de Malaga. Il se prolonge enfin par le Caucase jusqu'en Perse, dans les Indes et en Chine, courant ainsi d'une extrémité du monde à l'autre. On l'a observé à une altitude de 5.000 mètres dans la partie occidentale du Thibet.

Dans toutes ces régions, le terrain nummulitique se recon-

naît, malgré quelques variations locales, aux mêmes caractères. Ce sont tantôt des calcaires durs et cristallins, souvent presque uniquement composés d'accumulations de nummulites, tantôt des grès et des marnes, mais où les nummulites ne sont pas moins abondantes.

Nous allons examiner quelques points de la géologie de ce terrain, dont l'épaisseur peut atteindre plusieurs milliers de mètres et qui, comme on le voit, joue un rôle des plus importants dans la charpente solide de la croûte terrestre.

805. Pyrénées occidentales. — C'est dans les falaises de Biarritz que l'on peut le mieux étudier les couches nummulitiques de cette région, grâce à leur inclinaison très sensible vers le nord. Delbos et Leymerie y distinguent trois assises principales :

3. Calcaire à *Eupatagus ornatus*.
2. Calcaire à nummulites.
1. Marnes à térébratules.

La première assise est une véritable zone de transition entre le terrain crétacé sur lequel elle repose et le terrain nummulitique. Elle ne renferme pas de nummulites, mais on y trouve, avec des fossiles franchement éocènes, ces foraminifères plats connus sous le nom d'*Orbitolites*, des fossiles de la craie tels que *Ostrea vesicularis* et *Terebratulina tenuistriata*.

La deuxième assise, qui est de beaucoup la plus importante, consiste en calcaires marneux ou sableux d'un gris bleuâtre ou jaunâtre qui constituent, au sud de Biarritz, la côte des Basques. On y observe des orbitolites, des nummulites telles que le *Nummulites atacica*, des oursins, des mollusques et enfin le *Serpula spirulæa* (fig. 490), espèce d'annélide tubicole, dont la coquille consiste en un tube irrégulièrement contourné et qui joue ici le rôle de fossile caractéristique.

Fig. 490.
Serpula spirulæa.

Dans les Landes, ces calcaires sont beaucoup plus fossilifères encore et diverses espèces de nummulites y sont surtout

très répandues. L'une d'elles, appelée *Nummulites aturica* (fig. 491) par Leymerie[1], est d'une extrême abondance dans quelques localités ; les calcaires qui la contiennent ont souvent assez peu de consistance pour lui permettre de se détacher et de tomber sur le sol, où il est facile d'en recueillir un grand nombre dans un bel état de conservation. Tel est le cas à la *Fontaine de la médaille*, près de Montfort. Cette nummulite est commune aux roches du même âge dans les Carpathes.

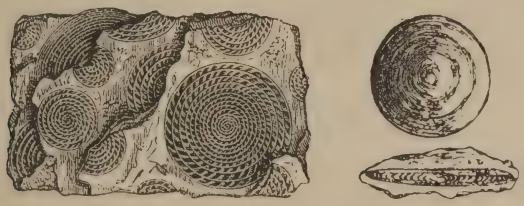


Fig. 491. — *Nummulites aturica.*

Les couches de la troisième assise se montrent dans les falaises qui correspondent au village même de Biarritz et qui se signalent par les découpures et les formes bizarres que les vagues y ont produites. Ces couches sont composées de calcaires sableux ordinairement jaunâtres, offrant des parties endurcies pétries de petites nummulites. On y trouve aussi l'*Operculina ammonea* (fig. 492), foraminifère ressemblant à une ammonite, et particulièrement l'*Eupatagus ornatus*, espèce d'oursin de forme elliptique.

Fig. 492. *Operculina ammonea.*

Les bancs supérieurs, qui apparaissent au nord du village, dans la dernière partie de la falaise dite de la *Chambre d'Amour*, consistent en sables jaunâtres, remplis d'operculines, au milieu desquels se sont consolidées des masses réniformes de grès. On y rencontre quelques espèces du bassin parisien.

806. Pyrénées centrales. — Le terrain nummulitique

1. *Nummulites Puschii* de d'Archiac.

se maintient au pied des Pyrénées ou vers le bas du versant septentrional dans toute l'étendue de la chaîne. Il est clairement indiqué par un poudingue à gros éléments qui le recouvre partout, appelé *poudingue de Palassou* du nom du savant qui l'a décrit le premier à la fin du siècle dernier. Il convient d'en donner tout d'abord une description sommaire.

C'est un conglomérat composé de cailloux généralement peu roulés ou de gros fragments empruntés au terrain jurassique, au terrain crétacé et même à l'éocène, grossièrement liés par un ciment terreux passant au grès, à la marne et au calcaire. Ce dépôt se trouve en bancs mal stratifiés séparés par des lits de calcaire marneux ou de marne, d'une couleur entièrement blanche ou jaspée de rouge et de violet. Il forme comme une cuirasse à l'extérieur des Pyrénées, dont il constitue le dernier élément, et semble protéger le calcaire à nummulites qui se trouve constamment dessous et dont il partage l'inclinaison. Ainsi que le fait remarquer Leymerie, ce conglomérat à blocs à peine arrondis sur leurs angles atteste l'intensité des secousses que le sol a dû éprouver avant le grand soulèvement des Pyrénées et l'action énergique exercée par les vagues de la mer éocène.

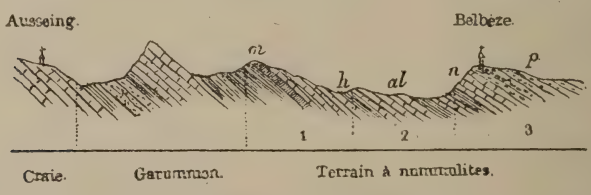


Fig. 493. — Coupe de la montagne d'Ausseing (versant méridional). — *m*, calcaire subcrayeux; *h*, marne à *Ostrea uncifera*; *al*, calcaire marneux à alvéolines; *n*, calcaire roux à operculines; *p*, poudingue de Palassou.

Dans les départements de la Haute-Garonne et de l'Ariège, le terrain nummulitique se présente avec un beau développement. On peut l'observer en plusieurs points, mais nulle part ses relations stratigraphiques ne se manifestent plus nettement que sur le versant méridional du massif soulevé d'Ausseing, où il s'appuie sur le garumnien, dernier terme du terrain crétacé qui constitue essentiellement cette montagne (fig. 493). Leymerie y distingue trois assises :

1° Au dessus du garumnien, on observe d'abord 60 mètres de calcaires blancs peu réguliers, vers la base desquels se trouve une couche sans délit, de 5 à 6 mètres d'épaisseur, formée par un calcaire subcrayeux, mélangé d'un peu de marne, qui donne une pierre de taille assez médiocre. Outre les miliolites, qui caractérisent spécialement ces calcaires, on y rencontre des espèces particulières de cardites et de grandes cérithes, ainsi que le *Nerita conoïdea*, qui semblent établir leur assimilation aux sables du Soissonnais. L'assise se termine par une couche de marne où abonde une huître très caractéristique pour cette région, l'*Ostrea uncifera*.

Fig. 494. *Alveolina subpyrenaïca.*

2° La deuxième assise a une puissance de 120 mètres. Elle offre d'abord des calcaires marneux empâtant des grumeaux concrétionnés et des calcaires compacts, fragiles, cellulaires, qui contiennent des huîtres et de grandes lucines. Au-dessus reparaissent les calcaires marneux ; puis viennent des alternances de marnes et de calcaires marneux pétris d'alvéolines (fig. 494).

3° La troisième assise, d'une épaisseur de 150 à 200 mètres, se distingue au premier coup-d'œil par une couleur rousse qui contraste avec la teinte pâle du reste du terrain. Elle débute par un calcaire roux contenant beaucoup de débris de coquilles marines et de radioles ou baguettes d'oursins, avec de nombreuses operculines. C'est le niveau des nummulites, qui manquent ici par exception.

Au-dessus de ce calcaire, le terrain commence à devenir plus grossier. C'est d'abord un grès calcaire renfermant des coquilles marines brisées, puis le poudingue de Palassou qui s'étend beaucoup au sud de Belbèze. Ce grès, exploité dans les carrières de Furnes, donne une pierre demi-dure, jaune nankin, à grain fin, dont la charge d'écrasement est de 160 à 170 kilogrammes par centimètre carré et que l'on a employée dans les églises de Saint-Girons et de Roquefort, ainsi que dans plusieurs ouvrages d'art de chemin de fer.

Les nummulites se trouvent presque immédiatement au-dessous du poudingue, comme dans toutes les Pyrénées. Si à Belbèze elles font défaut par quelque circonstance particulière, il

n'en est pas de même sur les autres points, à Aurignac par exemple, où on voit des calcaires jaunes ou roussâtres pétris d'innombrables individus appartenant à de petites espèces de nummulites, avec les mêmes operculines qu'à Belbèze.

Dans l'Ariège, le poudingue de Palassou, qui jusque là était exclusivement marin, offre des intercalations de couches d'eau douce avec des ossements de *Palæotherium*, qui permettent de l'assimiler au gypse parisien.

Les couches à nummulites ne se trouvent pas seulement à la base du massif pyrénéen. On les a signalées à une altitude de 3.351 mètres au sommet du Mont Perdu, où elles reposent sur le terrain crétacé.

807. Corbières. — Le terrain nummulitique est largement développé sur le versant méridional des Corbières, où il offre dans plusieurs localités des fossiles nombreux et variés. Il est compris, comme dans les Pyrénées centrales, entre le garumnien lacustre et le poudingue de Palassou, mais sa composition lithologique et sa faune ne sont plus les mêmes. Il est d'ailleurs très incliné et affecté par des dislocations qui impriment au relief du pays un caractère heurté et sauvage en même temps qu'une grande aridité.

Ce terrain débute par des calcaires de couleur sombre où l'on ne voit guère d'autres fossiles que des miliolites, puis viennent des calcaires à alvéolines, des marnes bleuâtres ou grisâtres à operculines et des calcaires marneux à nummulites, que surmontent des grès et le poudingue de Palassou.

Tandis que les couches miocènes se retrouvent au pied des Pyrénées dans leur position horizontale, le miocène inférieur des Corbières est plissé et démantelé comme l'éocène et supporte le miocène supérieur en stratification discordante, ce qui prouve que ce massif est plus récent que les Pyrénées.

808. Alpes. — Le terrain nummulitique forme, à l'extérieur de la chaîne occidentale des Alpes, une zone qui est presque aussi continue que dans les Pyrénées. Il y est constamment redressé et souvent même porté vers les sommets jusqu'à 3.000 mètres et plus, notamment aux Diablerets, montagne bien

connue des géologues et située à l'est de Bex dans le canton de Vaud.

Ce terrain consiste en schistes marneux, en grès à ciment calcaire ou *macigno* (n° 466), en calcaires plus ou moins compacts, bruns ou gris foncé, accompagnés de grès passant au quartzite, qui renferment quelquefois des amas de lignite. On y trouve plusieurs espèces de nummulites pyrénéennes, avec des espèces particulières mélangées à divers fossiles du bassin de Paris ; nous citerons entre autres le *Cerithium diaboli*, coquille très fréquente aux Diablerets et en général dans les Alpes de la Suisse. Il est à remarquer que la faune de l'éocène subalpin présente des associations de formes assez différentes de celles de ce bassin ; ainsi le *Nerita conoïdea*, cantonné dans l'assise des sables du Soisonnais, persiste ici jusqu'au sommet des couches qui correspondent au calcaire grossier.

Les couches nummulitiques proprement dites sont recouvertes en plusieurs points par le *flysch*, ensemble de couches alternatives de calcaire schisteux, noir ou gris, et de calcaire gréseux tenace, presque compact, ordinairement d'un gris foncé, passant au grès, dont les strates sont légèrement ondulées. Ici les nummulites sont remplacées par des fucoïdes (fig. 495) qui, d'après Brongniart, seraient les mêmes que celles qui se trouvent dans les schistes incontestablement crétacés des Hautes et des Basses-Pyrénées. On s'accorde généralement à placer le flysch sur le même niveau que le gypse parisien.

Fig. 495.
Fucoïdes intricatus.

§ V.

TYPES DIVERS DE L'ÉOCÈNE.

809. Eocène de la Provence. — Nous avons vu que la mer nummulitique, dont les dépôts ont apporté un contingent si considérable à la masse des Pyrénées et des Alpes, ne pénétrait pas en Provence et que cette région était alors occupée par de grands lacs qui s'étaient installés avant la fin de la période crétacée. Aussi les couches éocènes y sont-elles entièrement lacustres.

Le *calcaire du Cengle*, qui constitue à Fuveau une zone de passage entre le crétacé et l'éocène (n° 774), est recouvert immédiatement par le *calcaire du Montaiguet* à *Strophostoma lacipida*, *Limnæa aquensis*, etc. ; en quelques points, ces deux calcaires sont séparés par une assise de marnes rouges qui peut atteindre une quarantaine de mètres. Au-dessus vient le *calcaire de Cuques*, blanc et compact, avec *Limnæa Michelini*, *Planorbis Leymeriei*, etc. Cet ensemble paraît correspondre au calcaire grossier parisien.

Dans les environs d'Aix, on trouve ensuite une série de couches qui a son autonomie bien marquée et repose transgressivement sur tous les terrains antérieurs du pays ; M. de Rouville lui a donné le nom d'*étage sextien*, d'*Aquæ sextiæ*, dénomination latine de cette ville.

La série commence par un conglomérat à pâte assez grossière dont les cailloux, à peine roulés, rayés par suite de leur frottement les uns contre les autres, ont été arrachés aux terrains jurassiques et néocomiens. Sur la lisière sud du lac sextien, ce conglomérat est remplacé, d'après M. Collot, par des marnes, des poudingues et des graviers où on remarque des éléments de provenance plus lointaine. Dans la partie centrale (Puy Sainte-Réparade), des marnes rouges avec quelques lits de grès se substituent progressivement à ces dépôts littoraux. On a là l'équivalent des sables de Beauchamp.

L'assise suivante consiste en sables argileux et argiles verdâtres ou bariolées, avec quelques bancs peu épais de calcaire à *Limnæa longiscata* qui permettent l'assimilation au calcaire de Saint-Ouen. A Gargas près d'Apt, où cette assise repose sur l'aptien (fig. 460), elle est recouverte par une couche très mince de marne noire ligniteuse contenant un grand nombre de débris de mammifères semblables à ceux du gypse parisien (*Palæotherium*, *Anoplotherium*, *Xiphodon*).

Au-dessus, on observe une assise formée de couches alternantes de marnes et de calcaires marneux à fossiles lacustres, avec bancs de gypse intercalés à divers niveaux. La colline qu'elle constitue près d'Aix est percée de nombreuses galeries servant à l'exploitation de ce gypse et dans lesquelles on découvre fréquemment des plaques couvertes d'empreintes de poissons d'eau douce et d'insectes (fig. 496). C'est également sur les surfaces des calcaires marneux fissiles de cette assise que l'on rencontre le plus souvent des impressions de palmiers et de beaucoup d'autres plantes qui ont été étudiées par M. de Saporta. Enfin la colline d'Aix est couronnée par des calcaires pétris de coquilles fluviatiles et terrestres.

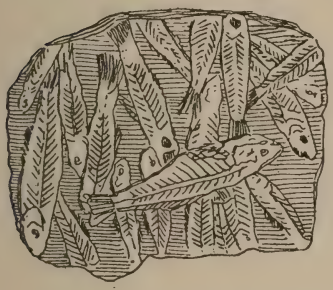


Fig. 496. – *Lebias cephalotes.*

Par suite de sa position au-dessus d'une couche marneuse à mammifères, le gypse de Gargas et d'Aix est un peu plus récent que celui de Paris. Aussi plusieurs géologues classent cette assise dans le miocène.

810. Éocène du bassin de la Garonne. — Le système éocène n'affleure que sur de faibles étendues dans le bassin hydrographique de la Garonne, où il est presque partout recouvert par des dépôts miocènes et pliocènes. Il constitue quelques parties protubérantes du sol dans le Médoc, notamment de Blaye à la Réole sur la rive droite de la Garonne, et dans la basse vallée de la Dordogne aux environs de Libourne,

Voici quelle est la série des assises de ce terrain avec leurs équivalents dans le bassin de Paris :

7. Mollasse du Fronsadais.....	Marne supra-gypseuse.
6. Marne à *Anomia girondica*.....	
5. Calcaire marin de Saint-Estèphe..	Assise du gypse.
4 Calcaire lacustre. Molasse de la Grave	Calcaire de Saint-Ouen.
3. Argile verdâtre à *Ostreä cucullaris*..	Sables de Beauchamp.
2. Calcaire grossier de Blaye.....	Calcaire grossier supérieur et moyen.
1. Sables à nummulites.....	Calcaire grossier inférieur.

Comme on voit, il n'y a pas d'assises correspondant à l'étage suessonien. Les *sables à nummulites*, qui commencent la série éocène, ont été décrits avec détail par M. Linder. Ils n'affleurent nulle part et on ne les connaît que par des sondages ; ce sont des sables plus ou moins grossiers, presque toujours argileux, et des marnes sableuses, caractérisés par de nombreuses nummulites et quelques crinoïdes. A Saint-Estèphe, on les a traversés sur plus de 60 mètres sans rencontrer leur limite inférieure. A Château-Vigneau, ils passent inférieurement à un menu gravier reposant sur des marnes argileuses à lignites et silex roulés, de 9 mètres d'épaisseur, qui représentent probablement la base du tertiaire, car elles sont superposées à des marnes et sables à faciès crétacé.

Les sables nummulitiques se chargent de matière calcaire à leur partie supérieure et passent insensiblement au *calcaire grossier de Blaye*, dont on ne peut les séparer. Les couches inférieures n'ont que des affleurements restreints à Blaye même, où elles constituent la base du tertre de la citadelle, et dans les environs immédiats de cette ville ; elles consistent en un calcaire massif assez grossier, à nombreux grains de quartz, avec des miliolites, des échinides et autres fossiles peu nombreux. La partie supérieure est plus nettement caractérisée par sa faune, qui établit la concordance avec le calcaire grossier supérieur du bassin de Paris ; au moulin de Ler, où elle forme l'escarpement qui borde la Gironde, c'est un calcaire à miliolites, *Orbitolites complanata* et nombreuses cérithes.

La partie supérieure du calcaire de Blaye est généralement ravinée et quelquefois perforée par des pholades, au contact

de l'*argile verdâtre*. Cette dernière assise n'a que quelques mètres de puissance ; mais elle constitue un horizon très constant dans le Blayais et le Médoc. Elle renferme en abondance *Ostrea cucullaris*, espèce caractéristique des sables de Beauchamp. Dans les environs de Bergerac, l'argile est remplacée par des sables et grès ferrugineux.

L'assise suivante se présente sous deux faciès assez différents. Dans le Blayais, c'est un calcaire lacustre avec empreintes de *Limnæa longiscata* ; dans le Médoc, la faune est saumâtre ou marine et renferme en particulier de nombreuses cérithes.

Le *calcaire de Saint-Estèphe*, assez développé dans le Médoc et le Blayais, est un calcaire marin généralement grisâtre avec nombreuses miliolites. On pourrait d'autant plus facilement le confondre avec le véritable calcaire grossier qu'il contient une faune qui se rapproche beaucoup de celle de ce calcaire ; mais c'est bien, d'après sa position stratigraphique, un équivalent marin du gypse de Paris.

A sa partie supérieure, le calcaire de Saint-Estèphe passe à des calcaires et à des marnes renfermant en prodigieuse abondance l'*Anomia girondica*, bivalve associé à de grandes huîtres qui rappellent l'*Ostrea longirostris*. Ce niveau, remarquable par sa constance, constitue un excellent repère dans l'étude du terrain tertiaire du bassin de la Garonne.

La série éocène se termine par la *mollasse du Fronsadais*, qui ravine profondément l'assise précédente et forme la base des coteaux cultivés des bords de la Dordogne. On y a trouvé des ossements de *Xiphodon*.

811. Argile à silex. — L'*argile à silex*, que l'on désigne aussi sous le nom de *terrain superficiel de la craie*, est en général une argile rougeâtre remplie de silex non roulés provenant de la craie, qui se développe sur certains points du bassin de Paris, notamment près des limites septentrionale et méridionale du système éocène, en ravinant le terrain sous-jacent. L'âge en est souvent incertain ; il semble cependant qu'on doive la rapporter au début de l'ère tertiaire.

Cette argile a d'abord été signalée dans la Touraine et l'An-

jou, où elle repose, comme partout d'ailleurs, sur la craie. Mais c'est dans les départements de l'Eure et d'Eure-et-Loir qu'elle recouvre les plus vastes surfaces. A sa partie supérieure elle renferme des blocs de grès lustrés, ou à gros grains anguleux cimentés par de la silice, dits *grès ladères*, et entremêlés de sables quartzeux, quelquefois kaoliniques. Plusieurs de ces blocs, choisis parmi les plus volumineux, ont servi aux cérémonies druidiques à l'époque où Chartres était le centre religieux le plus important de la Gaule ; aussi M. Desnoyers a proposé de les désigner sous le nom de *grès druidiques*, qu'ils portent d'ailleurs en Angleterre.

Près de Châteaudun, les grès ladères, au lieu d'être isolés, arrivent à former une couche continue.

En divers points, notamment près de Nogent-le-Rotrou, l'argile à silex avec grès est recouverte par un calcaire lacustre qui, d'après sa faune, correspond au calcaire de Saint-Ouen. Les grès, que l'on exploite pour pavés dans la Sarthe, renferment des empreintes végétales analogues à celles des sables du Soissonnais. Cependant certains géologues les assimilent aux sables de Beauchamp.

Les silex de la craie forment parfois une sorte de conglomérat à ciment argileux, généralement peu solide. Quand le ciment est siliceux, ce qui se présente dans le Blaisois, ce conglomérat est au contraire extrêmement dur ; là il peut atteindre jusqu'à 30 mètres d'épaisseur.

En Picardie, où l'argile à silex, dite *bief à silex*, couronne les plateaux crayeux, elle représenterait, d'après M. de Mercey, le résidu de l'érosion subie par l'argile plastique et les sables qui l'accompagnent.

Dans le Pays de Caux, ce dépôt forme une nappe épaisse, imperméable, toujours recouverte de limon, dont la surface est admirablement cultivée. L'argile entretient à une faible profondeur une humidité favorable à la végétation, et la craie sous-jacente fournit la marne nécessaire à l'amendement des terres limoneuses.

L'origine de l'argile à silex n'est pas moins incertaine que ne l'est son âge exact. En raison de sa grande analogie avec l'argile qui accompagne les meulières de la Brie et de la

Beauce, on est naturellement porté à la regarder comme produitepar une action thermale.

812. Eocène de l'Angleterre. — Au début de la période tertiaire, la France et l'Angleterre étaient réunies par un isthme de craie, et les couches éocènes de ce dernier pays se sont déposées dans une mer qui n'avait plus aucune communication avec celle du bassin de Paris. Ce n'est que plus tard, à la fin de l'éocène, que cet isthme a été de nouveau émergé. Quoique les dépôts français et anglais soient distincts, il n'y en a pas moins une certaine correspondance entre leurs assises ; toutefois, tandis qu'en France l'élément caractéristique est le calcaire grossier, c'est l'argile qui en Angleterre remplit ce rôle.

L'éocène anglais est un grand delta, déposé à l'embouchure d'un fleuve, qui coïncidait à peu près exactement avec l'estuaire actuel de la Tamise. Il a été coupé postérieurement en deux parties par le soulèvement du Weald, en sorte que l'on a deux bassins : le bassin de Londres et celui du Hampshire, séparés par une région crayeuse assez étendue. C'est à ce dernier bassin que se rattachent les dépôts de l'île de Wight dont les couches, par une circonstance exceptionnelle pour le tertiaire septentrional, se trouvent dans une position fortement inclinée.

Voici quelle est la série des assises anglaises avec les équivalents français :

Parisien.	Assise du gypse.....	Calcaire lacustre de Bembridge.
	Calcaire de Saint-Ouen.	Calcaire lacustre et marin d'Osborne.
	Sables de Beauchamp..	Argile de Barton.
	Calcaire grossier.....	Sable de Bagshot.
Suessonien.	Sables du Soissonnais.	Manque.
	Argile plastique.....	Argile de Londres.
		Argile de Woolwich.
	Sables de Bracheux....	Sables de Thanet.

Les *sables de Thanet*, ainsi appelés de l'île de ce nom, ne se trouvent qu'en quelques points. Ils consistent en sables fins, quartzeux, de couleur claire, parfois concrétionnés, en partie mêlés d'argile, d'une épaisseur maxima de 27 mètres. Leur faune, entièrement marine, comprend des dents de squale et

des coquilles de la faune de Bracheux, notamment l'*Ostrea bellovacina*.

L'*argile de Woolwich* est une argile plastique, tout à fait semblable à celle du bassin de Paris et dont on se sert pour la confection des poteries. Elle alterne avec des sables et des galets souvent agglomérés en couches dures. Dans l'île de Wight, les sables sont très développés et offrent des couleurs vives ; l'argile qui les accompagne est pyritifère et on l'utilise pour la fabrication de l'alun. Cette assise se rapproche par ses caractères minéralogiques, de même que par ses fossiles, des lignites du Soissonnais ; on y trouve des plantes terrestres et un mélange de coquilles marines et d'eau douce, entre autres *Cyrena cuneiformis, Melania inquinata*, très communs dans les couches du même âge en France et indiquant des embouchures de rivières dans la mer éocène.

L'*argile de Londres,* ou *London clay,* dont l'épaisseur varie de 15 à 150 mètres, est un dépôt d'estuaire formé par une argile tenace ou gris bleuâtre, avec lits de concrétions calcaires ou *septaria*, que l'on exploite dans les falaises des environs de Harwich et les bas-fonds de la côte d'Essex pour la fabrication du ciment romain. A sa base, elle passe à des sables jaunes et verts, mélangés de galets. Ce dépôt renferme de nombreux restes de plantes, des ossements de mammifères, d'oiseaux et de reptiles, et des coquilles dont plusieurs sont identiques à celles de la faune suessonienne.

L'*assise de Bagshot,* puissante de 90 mètres, comprend à la base et au sommet des sables siliceux jaune pâle, entre lesquels sont intercalés des sables vert foncé avec argiles brunes. Ces sables sont généralement dépourvus de fossiles ; en quelques endroits seulement, on y rencontre *Cardita planicosta*, *Nummulites lævigata, Cerithium giganteum*, qui les assimilent de la manière la plus nette au calcaire grossier parisien.

L'*assise de Barton* est essentiellement argileuse et ne renferme que quelques lits sableux. Les coquilles marines y abondent. En plusieurs points elle est représentée par des sédiments d'eau douce ou d'eau saumâtre.

Les *couches d'Osborne,* d'origine lacustre ou saumâtre, varient beaucoup dans leur épaisseur et leur constitution pétro-

graphique. Près de Ryde, elles fournissent une pierre de taille très recherchée pour la construction. Ailleurs ce sont des sortes de schistes ardoisiers à surface ondulée, et des calcaires avec traces de fucoïdes. La faune comprend des graines de *Chara*, le *Limnæa longiscata* et plusieurs autres espèces de mollusques.

Enfin l'*assise de Bembridge* consiste en marne, argile et calcaire d'eau douce, saumâtre ou marine. La pierre à bâtir de Binstead, calcaire percé de nombreux trous produits par des cyrènes qui n'ont laissé que les moules de leurs coquilles, est célèbre par les nombreux mammifères dont on y a trouvé les débris et qui sont caractéristiques de l'assise du gypse de Paris, tels que l'*Anoplotherium*, le *Palæotherium*, etc.

§ VI.

MASSIF DES PYRÉNÉES.

813. Orographie. — Les Pyrénées s'étendent entre la France et l'Espagne, depuis le cap Creuss où elles sortent brusquement de la Méditerranée jusqu'à la baie du Figuier où leurs dernières crêtes occidentales plongent dans l'Océan. Elles obéissent dans leur forme générale à la loi qui régit le profil transversal des régions montagneuses et c'est vers la France qu'elles tournent leurs pentes les plus abruptes : ainsi, par le travers de Lourdes, la crête n'est éloignée que de 35 kilomètres environ des plaines françaises, tandis que la masse se poursuit jusqu'à une distance de 70 kilomètres du côté de l'Espagne.

D'après un premier aperçu, les Pyrénées ont une direction E. 8 à 10° S. ; mais quand on les examine de plus près, on reconnaît que leur relief se coordonne à deux lignes de faîte parallèles, espacées d'une trentaine de kilomètres, dirigées E. 18° S., dont l'une commence au point où l'autre finit, vers le milieu du massif, et raccordées par le contre-fort perpendicu-

laire qui sépare la haute vallée de la Garonne de la vallée de la Pique.

C'est dans cette dernière région que se trouve le massif de la Maladetta dont la cime, le pic de Nethou, atteint l'altitude maxima de 3.404 mètres. Toutefois ce n'est pas toujours sur la crête que se montrent les points les plus saillants : le Canigou, qui domine le versant français de la chaîne orientale, s'élève jusqu'à 2.785 mètres ; le pic du Midi de Bigorre, qui se dresse du même côté en avant de la chaîne occidentale et qui est couronné par un observatoire météorologique, a 2.877 mètres de hauteur.

M. Schrader a montré que la direction des deux demi-chaînes pyrénéennes ne provient pas d'une ligne continue, mais d'une série de rejets successifs guidés par les fractures qui découpent toute la masse. Les plus longues de ces fractures sont longitudinales et alignées E. 30° S. ; d'autres ont une direction d'environ N. E.-S. O. L'ensemble de ces deux systèmes de fractures et de quelques systèmes moins importants forme un réseau, et c'est en zigzaguant entre ses mailles que la ligne de crêtes semble avoir pris une direction moyenne, par une série irrégulière de déviations alternantes. En d'autres termes les Pyrénées, loin de se composer d'une crête flanquée de chaînons transversaux, apparaissent comme une longue succession de redressements obliques à l'axe imaginaire de chacune des deux chaînes, avec lequel ils font le plus souvent un angle assez aigu.

Dès lors il est aisé de comprendre pourquoi la plupart des grands sommets des Pyrénées ne sont pas situés sur la ligne de faîte. Cette ligne n'a en réalité qu'une valeur toute secondaire. Déterminée après coup par le travail des agents atmosphériques, il y avait plus de chance pour qu'elle se dessinât dans les principaux croisements vers le milieu des rides parallèles.

814. Constitution géologique. — Les Pyrénées offrent une grande unité géologique. Que l'on descende de leur axe central vers la France ou vers l'Espagne, on retrouve les mêmes formations géologiques, se succédant dans le même ordre jusqu'à la base (fig. 497). Ces diverses formations, plus ou moins régulières dans leur allure, sont en général alignées suivant

la direction oblique E. 30° S. des grandes fractures longitudinales et elles se prolongent ainsi indifféremment à travers l'un ou l'autre versant en recoupant la ligne de faîte.

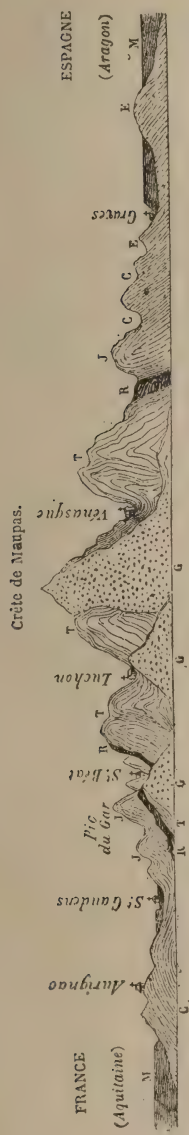


Fig. 497. — Coupe des Pyrénées passant par la partie centrale (d'après Leymerie). — G, granite; T, terrains de transition; R, trias; J, terrain jurassique; C, terrain crétacé; E, terrain éocène; M, terrain miocène.

Sur le versant français, Leymerie distingue trois zones de montagnes échelonnées. La première, qui est la zone des crêtes, atteint les plus grandes altitudes ; c'est la région des rochers nus, des pentes rapides, des glaciers, des rhododendrons et des sapins ; les granites, les gneiss, les schistes cristallins la constituent presque entièrement.

La deuxième zone, formée par des schistes et des calcaires de transition, est plus massive et a un relief moins heurté ; les couches sont souvent disposées en dos d'âne dans le sens des vallées transversales. Là dominent encore les sapins avec des hêtres et des pâturages.

Dans la troisième région, on observe, après des affleurements généralement peu étendus de carbonifère, de trias et de calcaires jurassiques, les bandes plus larges et plus régulières des terrains crétacés. Les formes du sol s'arrondissent ; les hêtres, les chênes, les châtaigniers donnent souvent de belles futaies ; les prairies prospèrent pour peu que le terrain soit humide.

Le massif ne se termine généralement pas par une pente douce et modérée, mais plutôt par une ligne d'escarpements qui entament presque toujours les calcaires crétacés, en donnant lieu parfois à une sorte de grand fossé, comme celui qui sépare les Pyrénées des Corbières dans l'Aude.

Enfin le terrain éocène se trouve surtout dans les Petites Pyrénées, ride marginale parallèle à la grande chaîne et qui prolonge les Corbières.

Si la succession des assises se reproduit symétriquement sur les deux versants des Pyrénées, il n'en est pas de même de la structure, qui présente de notables différences. En France, où sont les pentes les plus raides, les dislocations et les contournements sont fréquents et compliqués ; on y observe de nombreuses failles, entre lesquelles les terrains sont fortement brisés et plissés, et il est d'autant plus difficile de s'y reconnaître que la partie supérieure du pli a été enlevée par de puissantes dénudations. Sur le versant espagnol au contraire, les couches n'ont pas été aussi profondément affectées ; elles s'écartent moins de leur position primitive et elles forment en général des sortes de paquets séparés les uns des autres par des failles.

815. Formation des Pyrénées. — De même que presque tous les grands massifs montagneux, les Pyrénées ne sont pas le résultat d'un effort unique. Déjà vers le début de la période carbonifère, leur relief était sensiblement accusé, comme le montre la discordance de stratification qui existe entre les couches de cette période et les assises sous-jacentes. Une nouvelle discordance s'observe entre le crétacé inférieur et le crétacé supérieur, d'où l'on peut conclure que ces dépôts ont

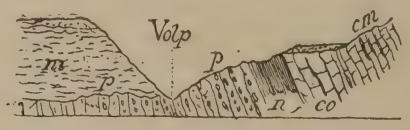


Fig. 498. — Coupe de la vallée du Volp (Leymerie). — *m*, miocène ; *p*, poudingue de Palassou ; *n*, marne à nummulites ; *co*, calcaire roux à operculines ; *cm*, calcaire marneux à *Ostrea uncifera*.

été séparés également par un mouvement de dislocation. Un troisième mouvement s'est produit à la fin de l'éocène ; c'est le plus important de tous, car il a porté les assises nummulitiques jusqu'à une hauteur de 3.352 mètres au Mont Perdu.

La date de ce grand effort, qui a donné aux Pyrénées leur relief définitif, est nettement marquée en plusieurs points du pied de la chaîne, et notamment près de Cazères (fig. 498), où l'on voit les couches miocènes parfaitement horizontales reposer sur les bancs redressés du poudingue de Palassou.

En outre de ces trois efforts principaux, il y en a eu certainement d'autres, moins considérables. C'est ainsi que, quoiqu'il y ait concordance entre le terrain crétacé et le terrain nummulitique, l'absence des premières assises de l'éocène permet de penser que cette lacune correspond à une époque de trouble dans la région pyrénéenne. M. Ch. Barrois a montré d'autre part qu'une compression latérale, dirigée à peu près suivant l'axe du massif, s'est fait sentir en Espagne entre l'époque houillère et l'époque permienne.

A part ce dernier effort, toutes les forces qui ont agi sur les Pyrénées pour accentuer leur relief paraissent avoir eu une direction transversale, et il semble que pour la chaîne occidentale les impulsions soient venues surtout du sud, tandis que pour la chaîne orientale elles venaient surtout du nord. Le fuseau dans lequel s'est fait sentir l'action de ces forces est limité par les deux sillons où coulent en sens inverse la Garonne et l'Ebre, qui sont orientées parallèlement à la ligne de fracture E. 30° S.

816. Terrain primitif et goupe primaire. — Le *terrain primitif* des Pyrénées se compose surtout de gneiss avec intercalation de lentilles de cipolin ; c'est à ce terrain que l'on peut rapporter le marbre blanc saccharoïde de Saint-Béat (n° 492). A sa partie supérieure il passe à des micaschistes ou à des schistes micacés à structure gneissique que l'on observe notamment près du lac d'Oo.

Les *terrains de transition* jouent un rôle considérable dans la constitution du massif pyrénéen. Réunis au terrain primitif dont il n'est pas toujours facile de les séparer, ils forment une bande de 15 à 60 kilomètres de largeur, dont l'axe coupe la crête vers son milieu, au pied de la Maladetta. Il en résulte qu'ils atteignent leur plus grand développement en Espagne dans la chaîne orientale, et en France dans la chaîne

occidentale. Ces terrains ont d'ailleurs subi de profondes modifications, car leurs couches sont partout fortement redressées, plissées, ondulées, en sorte que les mêmes assises peuvent se reproduire une ou plusieurs fois en divers points d'une même vallée et qu'on a de la peine à se faire une idée exacte de leur véritable puissance.

Les *schistes cambriens* peuvent s'observer sur le versant septentrional dans les vallées de la Pique et du Lys, près de Luchon, où ils ont leur épaisseur maxima (3.000 mètres environ). Ils ont éprouvé des changements moléculaires plus ou moins prononcés au contact des roches éruptives, principalement vers la crête ; les schistes sont passés à l'état cristallin ou ont pris un aspect gneissique, et de nombreux bancs sont chargés de mica, de talc, de macles, de grenats. Ailleurs ils sont injectés d'innombrables filets quartzeux ; quelquefois au contraire, ils sont assez fissiles pour devenir propres à la fabrication de l'ardoise.

A la partie supérieure, les schistes cambriens font place à un puissant dépôt de calcaire, uniformément composé d'assises minces, ayant l'apparence de dalles, dont l'épaisseur peut s'élever jusqu'à 1.000 mètres et dont M. Jacquot a montré la continuité dans toute l'étendue de la chaîne. Ce calcaire, marqué souvent à la surface par un large sillon de couleur claire qui tranche sur le fond sombre des schistes, a un faciès caractéristique et constitue ainsi un horizon d'autant plus précieux qu'il supplée à l'absence des corps organisés fossiles dans le cambrien ; il est cristallin à petites facettes ou simplement grenu, presque constamment de couleur claire, blanche ou gris bleuâtre, toujours zoné. Il est recouvert par une nouvelle assise schisteuse, beaucoup moins épaisse que l'assise inférieure.

Le *système silurien* commence par une puissante assise de schistes carburés très noirs, à feuillets graphiteux et luisants, pénétrés de veines quartzeuses, souvent maclifères, auxquels succèdent des alternances de schistes argileux gris verdâtre, de grauwackes schisteuses, de quartzites, avec quelques bancs de calcaire gris noirâtre, accompagné de dolomie, qui annoncent le passage aux calcaires dévoniens.

On ne trouve guère de fossiles déterminables que dans les calcaires de la partie supérieure, à Marignac, aux environs de Saint-Béat, à l'hospice de Vénasque, etc. Ce sont des orthocères, et notamment des espèces ondulées comme *O. bohemicum* (fig. 499), des bivalves comme *Cardiola interrupta*, des encrines, des graptolithes, de rares gastéropodes ; cet ensemble correspond à la faune troisième de Barrande. On a observé quelques indications de la faune seconde au-dessous de ce niveau.

Fig. 499.
Orthoceras bohemicum.

Le *système dévonien* est remarquablement développé dans les Pyrénées, où Leymerie le divise en deux parties. La partie inférieure comprend des schistes, des grauwackes et des calcaires ; en certaines localités, comme aux environs de Gèdre et de Laruns, les spirifères et les polypiers y abondent avec *Atrypa reticularis ;* dans la Haute-Garonne, on y a trouvé quelques trilobites du genre *Phacops*.

La partie supérieure a pour principaux éléments des schistes argileux parfois ardoisiers, souvent versicolores, des schistes siliceux, et se termine par des calschistes amygdalins, quelquefois couronnés par des schistes et des quartzites.

Ces calcaires amygdalins, pétris de goniatites et de clyménies, renfermant des orthocères et des entroques, constituent un niveau très constant. Ils sont tout à fait analogues aux calcaires de Caunes dans la Montagne Noire (n° 625) et fournissent les beaux marbres verts et la griotte de la vallée de Campan.

M. Barrois est porté à enlever les griottes au dévonien pour les rattacher au carbonifère. De fait, elles renferment quelques trilobites carbonifères, en sorte qu'on pourrait en faire une zone de transition, comme celle qui surmonte les psammites du Condroz dans l'Ardenne (n° 598).

Le *système carbonifère* est mal représenté sur le versant français. On n'y trouve guère que quelques lambeaux houillers, notamment celui de la Rhune, qui consiste en une grauwacke schisteuse ou grossière reposant sur une griotte à cépha-

lopodes, et contenant des empreintes de plantes qui paraissent indiquer la partie supérieure de l'étage. Au-dessus viennent des conglomérats et des schistes rouges et jaunâtres, que l'on rapporte au permien à cause de leur situation au-dessous de poudingues tout à fait analogues à ceux des grès vosgiens.

En Espagne, le terrain houiller est plus largement développé et contient des couches de houille qui donnent lieu à quelques exploitations.

817. Terrains secondaires et tertiaires. — Le *trias* se compose surtout d'un grès quartzeux à ciment ferrugineux, d'un rouge intense uniforme, reposant sur des poudingues à cailloux roulés, passant vers le haut à des grès bigarrés micacés et perdant souvent même toute coloration. Les affleurements de ce grès s'accusent à la surface du sol par une teinte des plus prononcées, et on peut les constater dans la plupart des vallées transversales qui coupent la série des terrains sédimentaires. Ils constituent un horizon précieux entre les calcaires jurassiques et les calcaires dévoniens.

Le grès rouge, qui représente l'étage vosgien, est souvent recouvert par des argiles feuilletées, bariolées, ou des marnes versicolores, que l'on peut rattacher à l'étage saliférien d'autant mieux qu'elles renferment comme en Lorraine de nombreux dépôts de sel gemme et de plâtre, exploités dans les régions du sud-ouest, ainsi que des bancs de dolomie.

Dans un assez grand nombre de localités (Col de Lurdé au sud des Eaux-Bonnes, mont Bidat à Bagnères-de-Bigorre, environs de Saint-Béat, etc.), on observe au-dessus du grès un étage qui est marneux à sa base, calcaire dans sa partie moyenne et dolomitique à son sommet. On n'y a rencontré jusqu'ici d'autres fossiles que quelques débris d'encrines, mais sa composition et la place qu'il occupe ne laissent aucun doute, d'après M. Jacquot, sur son attribution au muschelkalk.

Le *terrain jurassique* forme, sur le versant septentrional et dans presque toute la longueur du massif, une bande à peu près continue. Ce sont des masses presque exclusivement calcaires, modifiées en beaucoup de points par le métamorphisme, souvent saccharoïdes ou lamelleuses, et qui portent à un haut

degré la trace des violents efforts mécaniques auxquels elles ont été soumises.

Tantôt ces calcaires se sont brisés et leurs fragments, ressoudés après coup par un ciment composé de la même substance, ont donné des brèches ; tantôt ils se sont laissé traverser par de nombreuses fissures qui ont été remplies, par voie thermale, de calcaire plus ou moins pur ou mélangé d'oxyde de fer, pour constituer ces beaux marbres veinés si abondants dans les Pyrénées. Ils sont accompagnés de quelques bancs de dolomie, ordinairement noirâtre et fétide.

Il est très difficile de subdiviser le terrain jurassique en étages. A sa base on a reconnu cependant le calcaire à bélemnites liasien, avec des ammonites et des térébratules ; la gryphée arquée et la plupart des autres fossiles du sinémurien n'ont pas encore été rencontrés. Des nérinées, disséminées à un niveau supérieur, indiquent la place du corallien.

Le *terrain crétacé*, plus éloigné que le jurassique de l'axe du massif, est mieux caractérisé. La partie inférieure du néocomien manque, mais sa partie supérieure est représentée principalement par un calcaire compact, souvent cristallin et de couleur foncée, sur la cassure duquel se dessinent des sections courbes indiquant le test du *Requienia Lonsdalei* et qui correspond ainsi au calcaire à caprotines de la Provence (nº 771). On peut voir ce calcaire à Orthez et dans les départements de l'Ariège et de la Haute-Garonne, où il a plusieurs centaines de mètres de puissance et où il fournit des matériaux de construction et des marbres estimés.

L'aptien se lie intimement au néocomien, car on y trouve encore la réquiénie précédente avec d'autres fossiles qui le caractérisent, tels que *Ostrea aquila* et *Plicatula placunea*. Quant à l'albien, il consiste en calschistes, schistes noirâtres et grès renfermant *Belemnites minimus*, *Ammonites inflatus*, etc.

Le cénomanien débute par des brèches et des poudingues qui accusent le voisinage d'un massif émergé de terrains plus anciens et qui enclavent, dans l'Ariège et la Haute-Garonne, un calcaire à hippurites. Ses caractères sont très nets à la montagne d'Ibantelli, près de Bayonne, où l'on trouve des rudistes qui établissent sa concordance avec le cénomanien supérieur des Charentes.

Les trois étages suivants occupent à la base du massif pyrénéen une large bande, qui offre un faciès différent dans chacune des deux demi-chaînes. Dans les Basses et Hautes-Pyrénées, ces étages consistent en assises puissantes de grès, de calcaire siliceux, de calcaire compact, de calcaire marneux plus ou moins siliceux, contenant parfois des lits de silex noirs. Cet ensemble, de formation marine, est caractérisé par la présence fréquente de fucoïdes; des niveaux fossilifères, intercalés à diverses hauteurs, permettent d'y reconnaître les termes principaux de la série classique.

Si nous passons à la chaîne orientale, nous constatons que le crétacé n'est plus exclusivement marin et renferme des intercalations lacustres et saumâtres. Le turonien n'est bien représenté que dans l'Ariège et l'Aude, où il se compose de calcaires à *Hippurites cornu-vaccinum* et à oursins, surmontés par des grès à cyclolites. Les deux autres étages ont une bien plus grande extension, mais nulle part ils ne sont mieux marqués que dans la montagne d'Ausseing (Haute-Garonne), protubérance avancée qui se rattache aux Petites-Pyrénées ; c'est là que Leymerie a pris le type de son sous-étage garumnien, partie supérieure de l'étage danien.

Le sénonien de cette montagne comprend des argiles surmontées d'un calcaire gris argileux à *Ostrea vesicularis* et *Ananchytes ovata*, avec intercalation d'un banc de rudistes.

Le maestrichtien, base du danien, consiste en calcaire de couleur nankin et argiles à *Ostrea larva* et *Nerita rugosa* ; c'est un calcaire noir appartenant à ce niveau qui forme la masse du cirque de Gavarnie jusqu'à la brèche de Roland et aux Tours de Marboré. Le garumnien se compose d'abord d'argiles plus ou moins bariolées avec bancs de calcaires ; c'est une formation fluvio-marine, dans laquelle on trouve des cyrènes, des débris de crocodiles et de tortues et un niveau de rudistes. Au-dessus vient un calcaire lithographique à nodules de silex, qui apparaît sous la forme d'une crête longitudinale tourmentée et dans lequel il n'y a que de rares indices de coquillages méconnaissables ; dans l'Ariège cependant il renferme des coquilles lacustres déterminables. La série se termine par des couches d'une marne sableuse glauconifère, qui présente un grand nombre de fossiles ressemblant à ceux de la craie blanche.

Nous avons déjà signalé le garumnien en Provence (n° 774). On remarquera qu'il y a de grandes analogies entre la faune des argiles bariolées d'Ausseing et celle du calcaire à lignites de Fuveau ; aussi il conviendrait peut-être de faire descendre, dans cette dernière localité, la limite du garumnien plus bas que l'indique la coupe que nous avons donnée, et il y aurait alors une lacune correspondant au maestrichtien. En Espagne, le garumnien a à peu près le même aspect et renferme de riches dépôts de lignite, notamment à Isona, Berga, etc.

C'est sur la marne glauconifère d'Ausseing que repose le terrain nummulitique, en parfaite concordance de stratification. Ce que nous avons dit précédemment de ce terrain (n°s 805 et 806) nous dispense d'y revenir ici.

818. Roches éruptives et métallifères. — Des granites de diverses sortes et des ophites, telles sont les seules roches éruptives que l'on rencontre avec quelque abondance dans les Pyrénées.

Le granite ordinaire existe en plusieurs points de la partie centrale et forme notamment le Nethou ; il est à grain fin ou moyen, à orthose blanc et mica noir. Là il paraît appartenir au terrain primitif, mais son caractère éruptif se manifeste souvent, surtout pour la variété porphyroïde, par sa pénétration dans les schistes anciens qui se trouvent modifiés à son contact et par les fragments volumineux de schistes cristallins qu'il empâte, comme on peut le voir au pic du Dé, près des lacs d'Oo (fig. 500).

Fig. 500. — Pic du Dé vu de la base du pic Quairat (Leymerie).

La pegmatite, qui se rattache à la période granulitique, forme plusieurs filons très nets. A la Maladetta elle est tourmalinifère et pénétrée de grands cristaux hexagonaux d'apatite. A Bagnères-de-Luchon elle renferme des paillettes de mica blanc disposées en palmes. A Louhoussoa, dans les Basses-Pyrénées, elle a donné en se décomposant un gisement de kaolin.

On comprend sous le nom d'ophite, dans les Pyrénées, des roches de texture et d'aspect variables, mais généralement compactes et verdâtres, quelquefois porphyroïdes, composées de feldspath uni à l'amphibole ou au pyroxène. Elles se trouvent en de nombreux points, dans les Basses-Pyrénées, la Haute-Garonne, l'Ariège, principalement vers la base du massif, sous la forme de masses peu étendues, souvent accompagnées de sources salines. Cette dernière circonstance a fait croire à plusieurs géologues que le sel gemme et le gypse des Pyrénées étaient des émanations de l'ophite ; mais, ainsi que nous l'avons vu plus haut, la plupart des gisements de ces minéraux appartiennent au trias.

On considérait autrefois toutes les ophites comme ayant fait éruption à l'époque éocène. La présence de galets ophitiques dans les conglomérats cénomaniens montre que ces roches peuvent être de date plus ancienne, et on a pu établir que plusieurs d'entre elles ont surgi à l'époque du trias, ce qui les rattacherait à la période mélaphyrique.

A Cazères (Haute-Garonne) et près de l'étang de Lherz (Ariège), l'ophite est accompagnée d'une roche assez rare, la lherzolite, composée de péridot olive et de pyroxène vert, qui paraît être de l'époque éocène.

Les Pyrénées ne sont pas riches en minerais métalliques. Nous signalerons quelques émanations plombifères qui ont formé plusieurs filons, comme à Sentein dans l'Ariège, et les gisements de minerai de fer du Canigou, du Rancié, etc., enclavés dans la dalle calcaire cambrienne.

Mais ce massif se distingue par l'abondance des eaux thermo-minérales. Il est peu de régions plus favorisées sous ce rapport que le versant français, où l'on trouve à chaque pas des sources sulfureuses et des sources salines, généralement en relation avec les grandes failles longitudinales. Les sources sulfureuses (Cauterets, Bagnères-de-Luchon, Eaux-Chaudes, Barèges, etc.) sont surtout groupées dans le haut du massif, près de la limite séparative des granites et des schistes anciens. Les autres, principalement séléniteuses et quelquefois d'une faible thermalité (Aulus, Bagnères-de-Bigorre, etc.), sourdent plus bas ; elles sont souvent au voisinage des ophites.

CHAPITRE XXI

PÉRIODE MIOCÈNE

§ I. Caractères de la période miocène. — § II. Système miocène dans le bassin de Paris. — § III. Système miocène de l'Aquitaine. — § IV. Miocène lacustre du centre de la France. — § V. Formation sidérolithique. — § VI. Types divers du système miocène. — § VII. Massif des Alpes occidentales.

§ I.

CARACTÈRES DE LA PÉRIODE MIOCÈNE.

819. Conditions physiques. — La période miocène, qui est comprise entre le principal soulèvement des Pyrénées et celui des Alpes, est marquée en Europe par deux grandes invasions marines, séparées par une période d'émersion.

Tout au début la mer, qui s'était graduellement retirée dans la période précédente des points qu'elle occupait, s'avance sur la région septentrionale ; elle pénètre en France jusque dans le Gâtinais et inonde une partie de l'Allemagne. Puis elle se retire vers le nord et la terre ferme se recouvre d'une série de lagunes ou de grands lacs dans lesquels s'entassent des lignites, surtout en Allemagne.

Par suite d'un mouvement du sol, les lacs se vident, les vallées fluviales commencent à se dessiner et bientôt l'Océan revient sur une partie de l'Europe occidentale. Il se répand dans la vallée de la Loire pour aller rejoindre la Manche en longeant

la lisière orientale de l'Armorique, dans la vallée du Rhône et sur une notable portion de la Suisse, de l'Autriche, de l'Asie Mineure. C'est la mer helvétienne, appelée aussi *mer mollassique*, parce que c'est dans ses eaux que s'est formée la mollasse; elle devait être très mouvementée, si l'on en juge par le caractère détritique de ses dépôts.

Puis le sol tend graduellement à s'exhausser. Les eaux marines abandonnent alors la plaine helvétienne et ne forment plus que trois golfes profonds, remontant à l'intérieur des terres dans les vallées occupées aujourd'hui par le Rhône, le Danube et le Pô. Le mouvement d'émersion continuant à se faire sentir, la Méditerranée diminue d'étendue, et sur l'emplacement qu'elle occupait à l'est s'installent des lagunes et de grands lacs, ainsi que l'attestent les formations saumâtres et lacustres qu'on observe dans cette région, tandis qu'à l'ouest elle est limitée par un continent qui relie l'Europe à l'Afrique.

Les phénomènes volcaniques reprennent en même temps une grande activité. L'écorce terrestre est ainsi très instable et les secousses qui l'agitent préludent aux derniers soulèvement de ces hautes montagnes des Alpes, des Cordillères et de l'Himalaya.

Des changements aussi considérables ne se font pas sans influer sur les conditions météorologiques. Sous l'action de la mer, le climat européen devient plus égal et plus tempéré que dans la période éocène. La végétation renaît avec une grande vigueur, favorisée peut-être aussi dans son développement par les torrents d'acide carbonique qui accompagnent l'émission des roches volcaniques.

820. Faune miocène. — Les mammifères atteignent le maximum de leur développement dans la période miocène. Les pachydermes sont à leur apogée ; le *Palæotherium*, qui ne tardera pas à disparaître, coexiste avec l'*Anthracotherium* [1], mieux armé, pourvu d'incisives et de canines tranchantes qui peuvent servir d'instruments de défense ; les tapirs et les rhinocéros commencent à se montrer.

1. Ἄνθραξ, charbon ; θηρίον, animal ; parce qu'on a rencontré pour la première fois cet animal dans des argiles à lignites.

La venue des ruminants, qui vers le milieu de la période prennent la prépondérance sur les pachydermes, était préparée par le *Xiphodon* parisien qui a autant de titres à être rangé dans l'un de ces deux ordres que dans l'autre. Les premiers sont encore dépourvus de cornes ; mais bientôt de vastes troupeaux d'antilopes et de cerfs se multiplient, grâce à l'abondante végétation de graminées qui couvrait le sol.

Fig. 501. — Mâchoire de *Machairodus cultridens* du miocène de Montpellier.

Les solipèdes apparaissent vers la fin avec l'*Hipparion*, qui vit en troupeaux comme les ruminants. C'est une sorte de cheval à trois doigts, qui précède en Europe le cheval proprement dit, dont il diffère par certaines particularités tirées du mode de plissement de l'émail dans les dents.

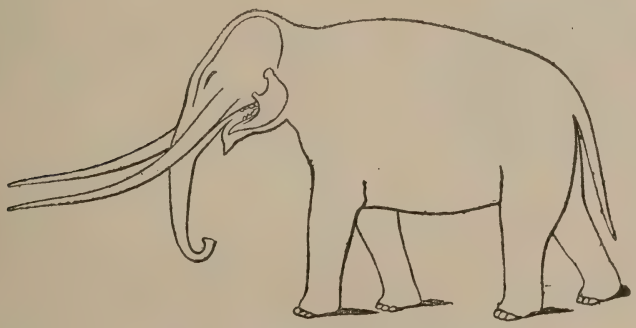


Fig. 502. — *Mastodon tapiroïdes.*

Autour de ces troupeaux venaient rôder de grands carnassiers, précurseurs des tigres et des hyènes. Tels sont le *Machairodus* [1] (fig. 501), sorte de grand chat à longues canines

1. Μαχαίρα, poignard ; οδους, dent.

crénelées, l'*Amphicyon*[1], qui avait la dentition du chien avec la taille et les membres de l'ours.

C'est aussi vers la fin du miocène que se présentent les proboscidiens, représentés par le *Mastodon* et le *Dinotherium*, aujourd'hui disparus.

Le mastodonte[2] (fig. 502) possédait un ensemble de caractères analogues à ceux des éléphants actuels. Il en diffère surtout par la forme de ses dents, hérissées de pointes (fig. 503), ce qui a fait croire qu'il se nourrissait de chair. Ses ossements abondent dans certaines régions ; ils sont si nombreux près de Santa-Fé de Bogota que, lors de la conquête du Pérou, les Espagnols ont cru que des hommes d'une taille colossale avaient anciennement habité ce pays. Ce sont les mâchelières du mastodonte, revêtues d'un émail épais et brillant, qui ont fourni pendant longtemps ce qu'on appelait la turquoise occidentale.

Fig. 503.
Dent de mastodonte très réduite.

Le *Dinotherium*, qui s'est éteint sans postérité, car aucun animal vivant ne s'en rapproche, ne méritait pas le nom qui lui a été imposé.[3] C'était un inoffensif herbivore et il se servait probablement de ses énormes défenses (fig. 504) comme d'une pioche pour déterrer les végétaux dont il faisait sa nourriture. Sa taille, qui était de $4^{m},50$ au moins, dépassait notablement celle des éléphants actuels.

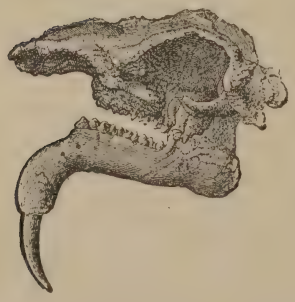


Fig. 504.
Dinotherium giganteum.

Avec ces animaux nous signalerons des singes, dont le plus remarquable est le *Mesopithecus Pentelici*[4], découvert par M.

1. Αμφί, auprès de ; κυων, chien.
2. Μαστος, mamelon ; οδων, dent.
3. Δεινος, terrible ; θηρίον, animal.
4. Μεσος, intermédiaire ; πίθηκος, singe.

Gaudry dans le célèbre gisement de Pikermi en Grèce, et qui forme la transition entre deux genres actuellement vivants. Les singes habitaient alors le midi de la France ; quelques-uns d'entre eux se rapprochaient des gibbons et de l'orang-outang par la taille et l'organisation.

Sur les côtes et dans les anses vivaient des phoques, des dauphins, des baleines, de grands squales, dont on retrouve les débris dans les faluns.

Les mollusques se rapprochent beaucoup de ceux de notre époque. Ce sont des cérithes ; des potamides (fig 506), coquilles d'eau douce ou saumâtre qui se rapprochent beaucoup des précédentes avec lesquelles on les confondait autrefois ; des mélanies, des volutes, des turritelles, des cardites, des cyrènes ; des natices (fig. 507), à coquille subglobuleuse, ordinairement de grandes dimensions ; des huîtres à crochet long et épais du type d'*Ostrea crassissima*, etc.

On voit apparaître des formes particulières d'oursins, en assez petit nombre d'ailleurs sauf dans la seconde partie du miocène : *Clypeaster*, bombé et granulé avec ambulacres ouverts vers le bas ; *Scutella*, complètement plat et discoïdal, dont les ambulacres sont nettement pétaloïdes. De nouveaux genres de foraminifères se montrent ; les nummulites deviennent plus rares.

821. Flore miocène. — La flore miocène est la plus riche et la plus variée de toutes les flores fossiles ; dans le seul groupe des phanérogames, on n'en connaît pas moins de 3.000 espèces. La végétation arborescente atteint alors son apogée ; aussi c'est à cette période qu'appartiennent la plus grande partie des dépôts de lignite tertiaires.

Les arbres à feuilles caduques, notamment les érables, les charmes, les peupliers, etc., continuent à suivre une marche envahissante et à prendre la prédominance. En même temps que ces arbres, qui forment le fond de notre flore indigène, coexistent des types étrangers, et la végétation offre un mélange de formes dispersées maintenant dans des contrées très distantes les unes des autres, des séquoias, des cyprès, des tulipiers, des palmiers, etc. De nombreuses fougères et

des plantes aquatiques complètent cet ensemble, qui témoigne d'un climat moins chaud et surtout plus humide que dans la période précédente.

Les affinités qui existent entre certaines plantes de l'Europe miocène et celles de l'Amérique orientale actuelle ont fait supposer qu'une grande terre unissait alors les deux continents. Cette terre submergée n'aurait rien de commun d'ailleurs avec l'Atlantide plus ou moins fabuleuse révélée à Platon par des prêtres égyptiens, car il n'est guère possible de penser que le souvenir s'en soit perpétué jusqu'à lui ; ce serait une sorte d'isthme qui, pour les uns se trouvait dans le nord vers le Groenland, pour les autres plus au sud et dont les débris seraient les Açores, Madère, les Canaries, les îles du cap Vert. L'étendue et la profondeur énorme de l'Atlantique dans ces parages font reculer devant une telle hypothèse ; mais on échappe à toute difficulté si l'on admet avec Lyell que les formes végétales de l'Amérique ont passé par le détroit de Behring et les îles Aléoutiennes pour gagner la Chine par le Japon et de là se propager en Europe. Ce qui donne de la force à cette opinion, c'est que, quand on se dirige de l'Europe vers l'orient, on voit la végétation actuelle revêtir de plus en plus les caractères de la flore miocène européenne.

822. Division en étages. — Le système miocène comprend deux étages :

2. Étage falunien.
1. Étage tongrien.

Le premier, qui tire son nom de la ville de Tongres dans le Limbourg belge, est caractérisé par *Cerithium plicatum* (fig. 505), à tours de spire relativement peu nombreux, présentant à leur surface des plis longitudinaux épais ; *Potamides Lamarcki* (fig. 506), dont les premiers tours sont chargés de petites côtes ; *Natica crassatina* (fig. 507), espèce ventrue remarquable par la taille qu'elle peut atteindre ; *Ostrea cyathula* (fig. 508), petite huître ovale à valve inférieure très convexe en dehors ; *Pectunculus obovatus* (fig. 509), cordiforme, très bombé, à test épais avec côtes très aplaties.

Fig. 505.
Cerithium plicatum.

Fig. 506.
Potamides Lamarcki.

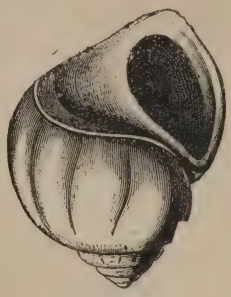


Fig. 507.
Natica crassatina.

Fig. 508. — *Ostrea cyathula.*

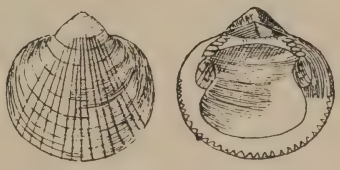


Fig. 509. — *Pectunculus obovatus*

L'*étage falunien,* ainsi nommé des faluns de la Touraine, a pour fossiles caractéristiques : *Voluta Lamberti* (fig. 510), coquille assez ventrue, à sommet obtus ; *Helix turonensis* (fig. 511), à spire courte et aplatie ; *Lucina columbella* (fig. 512),

Fig. 510.
Voluta Lamberti.

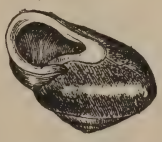


Fig. 511.
Helix turonensis.

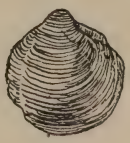


Fig. 512.
Lucina columbella.

Fig. 514.
Lima squamosa.

coquille ronde à petits crochets ; *Cardita Jouanneti* (fig. 513), à côtes arrondies, striées transversalement ; *Lima squamosa* (fig. 514), à fortes côtes écailleuses ; *Congeria subglobosa* (fig. 515), coquille lacustre remarquable par sa forme bizarre, bombée ou aplatie, à contour triangulaire ou quadrangulaire.

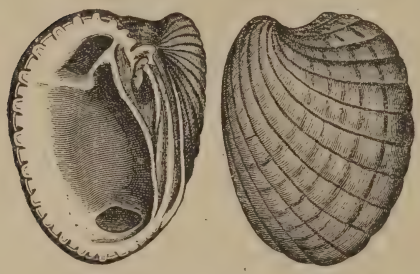


Fig. 513. — *Cardita Jouanneti.*

Fig. 515.— *Congeria subglobosa.*

§ II.

SYSTÈME MIOCÈNE DANS LE BASSIN DE PARIS.

823. Division en assises. — Le système miocène du bassin de Paris comprend une série d'assises variées qui se succèdent dans l'ordre suivant :

Étage falunien.	9. Faluns de l'Anjou. 8. Faluns de la Touraine.
Étage tongrien.	6. Sables et argiles de la Sologne. 5. Sables de l'Orléanais. 4. Calcaire de la Beauce. 3. Sables de Fontainebleau. 2. Calcaire de la Brie. 1. Glaise verte.

On restreint quelquefois le tongrien aux trois assises inférieures. On fait du calcaire de Beauce, bien développé dans

l'Aquitaine, l'*étage aquitanien*, qui termine l'oligocène, et des deux assises suivantes l'*étage langhien*, des *Langhe*, collines italiennes.

L'étage falunien n'est pas très bien représenté dans le bassin de Paris. C'est en Suisse qu'il a son plus grand développement sous la forme de mollasse ; aussi on lui donne également le nom d'*étage helvétien*.

824. Glaise verte. — Les glaises ou marnes vertes, qui n'ont pas plus de 4 à 5 mètres de puissance, constituent une assise qui se poursuit avec une grande constance et donne un excellent repère dans presque toutes les parties du bassin de Paris. Leur coloration doit être attribuée à la présence d'un silicate ferrugineux voisin de la glauconie. On les exploite en un grand nombre de points pour la fabrication des briques et des tuiles.

Les fossiles de cette assise sont d'eau marine ou saumâtre. La base est caractérisée par le *Cyrena convexa*. Dans la partie supérieure, on trouve çà et là d'assez gros rognons, souvent cloisonnés, de strontiane sulfatée mêlée d'argile.

La glaise verte détermine par son imperméabilité un important niveau d'eau. Plusieurs des chemins de fer qui s'éloignent de Paris ont eu à la traverser, et ce n'est pas sans peine qu'on est parvenu à surmonter les obstacles qu'elle opposait au maintien de la voie, de même d'ailleurs que les marnes intercalées dans l'assise gypsifère qui la précède.

825. Calcaire de la Brie. — Le calcaire de la Brie, ou *travertin moyen*, commence généralement par des marnes blanches qui succèdent immédiatement aux marnes vertes et se fondent en quelque sorte avec elles. Au-dessus viennent des couches de calcaire gris blanchâtre, généralement compact, quelquefois caverneux, surtout quand il se charge de silice. Ces couches renferment du silex sous diverses formes et les calcaires siliceux passent souvent à la meulière.

Les meulières sont disséminées au milieu d'argiles plus ou moins sableuses, grises, rougeâtres, jaunes et quelquefois verdâtres, qui sont le résultat de l'altération chimique du traver-

tin siliceux ou sont dues à une action hydrothermale. Elles sont ordinairement dispersées un peu confusément dans ces argiles ; parfois elles forment des bancs assez réglés, mais rompus et comme disloqués.

Les fossiles sont rares dans cette assise. Nous citerons parmi les principaux *Limnæa cornea*, *Planorbis cornu*, et des graines et tiges de *Chara*.

Les marnes sont employées pour l'amendement des terres. Les calcaires fournissent des moellons et des pierres à chaux. Dans les environs de Fontainebleau, ils augmentent d'épaisseur en même temps qu'ils deviennent plus solides et donnent l'excellente pierre dure dont on fait un si grand usage à Paris sous le nom de pierre de Château-Landon (n° 480).

C'est dans cette localité qu'a été ouverte la première carrière par Perronet, en 1785, pour la construction du pont de Nemours. Sous le premier Empire, l'exploitation en a été poursuivie pour le compte de l'État, et on en a tiré les matériaux qui ont servi à la construction de la plupart des monuments exécutés dans le premier quart de ce siècle : l'arc de triomphe de l'Étoile, le Château-d'eau, le socle extérieur du Panthéon, etc. L'extraction, livrée plus tard à l'industrie privée, a cessé depuis une cinquantaine d'années. De nouvelles carrières ont été installées dans les environs et occupent de nombreux ouvriers.

On a fait des essais d'extraction en beaucoup d'autres points du département de Seine-et-Marne, mais la masse s'est trouvée généralement pleine de fils et de parties tendres et elle est souvent gélive. Aussi on a dû se résigner à les abandonner ou à n'en tirer que des moellons.

Les meulières sont tantôt plus ou moins cariées et caverneuses, tantôt entièrement compactes. Suivant leurs usages, on les divise en quatre catégories : 1° la meulière poreuse de grand appareil, que l'on emploie piquée dans les parements des ouvrages d'art ; 2° la meulière poreuse de moindre appareil, qui s'emploie smillée ou brute dans les maçonneries ordinaires et surtout dans les galeries d'égout ; 3° la meulière caillasse, compacte, qu'on casse en empierrements ; 4° la meulière de même nature en gros blocs, qui sert à la fabrication des meules, à moudre le blé.

La meulière est exploitée en un grand nombre de points, notamment sur les plateaux de la Brie. Mais ce n'est guère qu'à La Ferté-sous-Jouarre qu'on trouve celle qui réunit les qualités requises pour la mouture.

La Brie, considérée comme contrée agricole, doit sa fertilité à deux causes : à une nappe de limon étendue sur l'argile à meulières et à la glaise verte qui, en retenant les eaux, favorise le développement de la végétation. Partout où cette glaise est trop rapprochée de la surface et où le limon manque, on s'en aperçoit à la présence de bois ou de petites mares bordées de roseaux.

826. Sables de Fontainebleau. — Dans toute la région parisienne, cette assise débute par des marnes jaunâtres, quelquefois compactes, souvent feuilletées et sableuses, contenant beaucoup de fossiles marins, et notamment des écailles d'huîtres qui leur ont fait donner le nom de *marnes à huîtres*. Les types principaux sont l'*Ostrea longirostris*, dont la taille dépasse parfois 15 centimètres, et l'*O. cyathula*.

C'est au sud de Paris que ces marnes atteignent la plus grande puissance. Elles forment, à la base de la masse sableuse qui les surmonte, un niveau d'eau important, bien accusé dans les coteaux où elles affleurent par la richesse de la végétation, et qui est le principe des charmants paysages des vallées de Chevreuse et de Jouy. Elles renferment des bancs subordonnés d'un calcaire à miliolites, qu'on pourrait confondre à première vue avec le calcaire grossier moyen et qu'on exploite pour moellons à Juvisy et dans d'autres localités.

Au-delà de Longjumeau, les marnes à huîtres se transforment en une sorte de grès calcarifère tendre, de 2 mètres d'épaisseur, connu sous le nom de *mollasse d'Etrechy* et dont on fait des moellons.

Les sables, qui reposent sur les marnes à huîtres, sont essentiellement quartzeux, blancs ou de couleur ocreuse, parfois très micacés, surtout à la partie supérieure. Ils résultent évidemment de la démolition de roches cristallines par des eaux courantes qui les ont emmenées à de grandes distances de leur point de départ. Sur toute leur épaisseur, qui peut dé-

passer 70 mètres, ils ont une constitution assez uniforme ; on n'y trouve guère intercalés que des silex roulés de différentes couleurs, des fragments de calcaire disposés en lits à peu près horizontaux, de petits filets d'argile pure et feuilletée et de rares veines de mica. Dans le haut ils sont souvent cimentés en grès. Les sables blancs, composés de silice pure, sont utilisés pour la fabrication du verre et même du cristal.

La faune des sables de Fontainebleau est essentiellement marine. Dans les environs immédiats de Paris, les fossiles font généralement défaut, si ce n'est près de la base où l'on rencontre à Romainville un grès ferrugineux avec moules de bivalves et de cérithes. A Fontainebleau et surtout près d'Etampes, on y observe de nombreux cordons fossilifères qui ont permis de subdiviser en plusieurs horizons toute la masse sableuse. Dans le bas, on retrouve les petites huîtres des marnes avec le *Natica crassatina*, indices d'une formation de rivage ; plus haut viennent diverses espèces de cérithes, de cythérées, de buccins, qui montrent que la mer dans laquelle se déposaient les sables avait alors une assez grande profondeur ; au sommet, ce sont encore des fossiles marins, *Cerithium plicatum*, *Cardita Bazini*, etc.; mais bientôt se présentent des fossiles lacustres ou terrestres, tels que des lymnées, des hélices, qui préparent la venue du calcaire de la Beauce.

Le grès de Fontainebleau se trouve, comme nous l'avons dit, à la partie supérieure des sables. Il forme un banc solide, dont l'épaisseur maximum est de 4 à 5 mètres, qui s'est cimenté sous l'action d'eaux chargées de chaux carbonatée ou de silice. Les deux surfaces de ce banc sont rarement parallèles ; l'une et l'autre, et surtout la supérieure, offrent souvent des saillies et des cavités irrégulières, à contours arrondis, qui ne se correspondent presque jamais et donnent aux bancs une épaisseur très variable et très inégale. Les dépressions supérieure et inférieure étant souvent opposées, les bancs de grès s'amincissent tellement qu'ils se séparent facilement en plusieurs masses, lorsque le sable qui les supporte est entraîné par les eaux. Ce sont ces blocs, laissés en place ou éboulés sur les pentes et noyés partiellement dans les sables, qui donnent à certaines parties de la forêt de Fontainebleau leur caractère si pittoresque.

Les grès n'existent d'ailleurs pas partout. Ils forment des sortes de bandes, séparées par des zones exclusivement sableuses. Ainsi, tout près de Paris, sur les pentes des coteaux couronnés par les meulières de la Beauce, ils font souvent défaut.

Les grès sont à ciment siliceux ou calcaire. Dans le premier cas, la roche est parfois si compacte qu'on ne peut plus reconnaître sa nature arénacée et qu'elle a une apparence lustrée. Ces grès siliceux sont d'une grande dureté et on les recherche pour le pavage. En raison de l'uniformité de leur grain, un choc brusque donné en un point se propage également tout autour ; aussi il suffit d'un coup de marteau convenablement appliqué pour les casser d'une manière très régulière.

Les grès calcarifères, plus répandus que les précédents, sont de résistance variable. Tantôt ils sont très bien cimentés, tantôt ils sont incohérents et se désagrègent facilement entre les doigts. Quelquefois le ciment calcaire a cristallisé avec la forme géométrique qui lui est propre, en englobant le sable et formant ces assemblages de rhomboèdres auxquels on donne le nom de *grès cristallisé*. Ce sont les grès calcarifères cohérents qui fournissent la plus grande partie des pavés employés à Paris.

L'oxyde de fer anhydre ou hydraté se joint assez fréquemment au calcaire comme ciment et il en résulte des grès colorés en rouge et en jaune. A Orsay, le grès renferme même des veines noires, dues à de l'oxyde de manganèse, accompagné d'un peu d'oxyde de cobalt.

Les sables, pourvu qu'ils ne soient pas trop secs, conviennent à la végétation forestière, et c'est en effet sur des dépôts sableux de divers âges que sont installées les plus belles forêts des environs de Paris. La forêt de Fontainebleau est dans le même cas. Partout où le sable s'étend jusqu'à une grande profondeur, les chênes, les hêtres, les ormes, les charmes et les bouleaux se signalent par leur vigueur et leurs grandes dimensions ; mais quand des bancs de grès affleurent, les gros arbres, ne pouvant enfoncer leurs racines dans le sol, disparaissent et sont remplacés par de petits bois ; sur les ver-

sants rocheux, il n'y a plus que des maquis dans lesquels poussent le houx et le genévrier.

827. Calcaire de la Beauce. — Le calcaire de la Beauce, ou calcaire lacustre supérieur, marque le retrait définitif de la mer du bassin parisien. Le lac dans lequel s'est déposée cette assise s'étendait à l'est jusqu'en Champagne, au nord au-delà du Valois ; au sud sa limite disparaît sous les sables de la Sologne.

Dans la Beauce et les régions voisines, où la formation atteint son maximum d'épaisseur (50 à 55 mètres), on peut la diviser, d'après M. Douvillé, de la manière suivante :

3. Calcaire de Beauce supérieur.
2. Mollasse du Gâtinais.
1. Calcaire de Beauce inférieur.

Le calcaire inférieur, que l'on désigne aussi sous le nom de *calcaire à lymnées*, à cause de l'abondance de ces coquilles, est blanc, légèrement jaunâtre, souvent siliceux et passe à la meulière. C'est à ce niveau que correspondent les meulières exploitées à Villers-Cotterets, Montmorency, Rambouillet, Bellevue, etc.

Dans le département de Loir-et-Cher, le calcaire à lymnées donne de bonnes pierres de taille. Tel est le calcaire de Pontlevoy qui est compact, homogène, dur, d'un blanc faiblement jaunâtre, dont le poids est de 2.310 kilogrammes le mètre cube et qui ne s'écrase que sous une charge d'environ 350 kilogr. par centimètre carré ; on l'a employé pour les principales constructions de Blois et pour les travaux du chemin de fer de Bordeaux.

La *mollasse du Gâtinais* est une assise composée de glaise verte, de sables quartzeux et de grès calcaire, qui disparaît peu à peu à l'ouest pour se fondre dans le calcaire de Beauce supérieur.

Ce dernier, qu'on appelle aussi *calcaire à hélices de l'Orléanais*, consiste en bancs gris ou noirâtres, souvent bréchiformes, dont les principaux fossiles sont des *Helix*.

Dans les environs de Vernon, le calcaire de la Beauce pré-

sente des fentes et des sortes d'entonnoirs remplis d'un sable quartzeux kaolinique rappelant la structure du granite en décomposition. M. Douvillé attribue une origine éruptive à ce sable, qui est en relation avec un système de failles et de fractures orienté 140 degrés.

Les calcaires de la Beauce couvrent le vaste plateau qui sépare les bassins de la Seine et de la Loire. Cette région est au point de vue de l'uniformité du relief le territoire le plus étendu et le plus homogène de tout le bassin de Paris ; il est si peu accidenté que pour le passage des chemins de fer on n'a eu à faire aucune tranchée de profondeur tant soit peu appréciable.

Grâce à l'existence d'une couche de limon d'un mètre en moyenne d'épaisseur, superposée aux calcaires lacustres, la Beauce est une contrée fertile. Elle se distingue essentiellement de la Brie, avec laquelle elle a tant de caractères communs, par la rareté des sources et la grande profondeur des puits. Aussi on n'y voit presque pas d'arbres, point de bosquets verdoyants ; l'horizon n'y montre que des plaines monotones consacrées à la grande culture, ainsi que l'indiquent les fermes et les villages clairsemés. La composition calcaire du sous-sol, la propriété que possède celui-ci de s'imprégner d'eau qu'il restitue lentement à la végétation, compensent heureusement en partie les conditions hydrologiques défavorables dans lesquelles se trouve le pays.

828. Sables de l'Orléanais. — Ces sables sont un dépôt fluviatile, développé surtout dans la vallée de la Loire où il peut atteindre une vingtaine de mètres de puissance. Ils sont grossiers, argileux, accompagnés quelquefois de grès calcaires, et généralement dépourvus de fossiles sauf en de rares points comme Neuville-aux-Bois, où ils renferment des ossements de *Mastodon*, *Dinotherium*, *Rhinoceros*, etc.

Ils sont surmontés par une couche mince de marnes blanches et vertes à *Melania aquitanica*, qui représente parfois toute l'assise et repose alors sur le calcaire de Beauce supérieur.

C'est sur le sol plat, imperméable, rebelle à la culture, constitué par ces sables, que s'étend la forêt d'Orléans.

829. Sables de la Sologne. — La Sologne est une région naturelle légèrement ondulée, comprise entre les vallées de la Loire et du Cher, dont la superficie est d'environ 450.000 hectares. Sur toute cette étendue, le sol se compose exclusivement de sables quartzeux grossiers plus ou moins argileux, alternant avec des bancs d'argile un peu sableuse, dont l'épaisseur totale est en moyenne d'une vingtaine de mètres et peut dépasser 50 mètres, comme aux environs de la Ferté-Saint-Aubin.

Ces sables, dépourvus de calcaire et de débris organiques, ne présentent aucune trace du classement mécanique caractéristique des dépôts de sédiment ; les grains de quartz y ont quelquefois la forme bipyramidée et ils renferment çà et là de petites quantités de sulfate de baryte. Ils ont une grande analogie de composition avec les sables granitiques de Vernon, en sorte qu'on pourrait les regarder avec M. Douvillé comme des épanchements boueux de même nature que ces derniers.

La Sologne est un pays infertile, que la présence de bancs d'argile rend imperméable. De grands travaux ont été exécutés depuis 1852 pour améliorer ce sol marécageux et malsain, qui est maintenant en grande partie couvert de forêts de pins et reprend l'aspect boisé qu'il avait eu à une époque reculée.

830. Faluns. — Les *faluns* sont des dépôts marins composés ordinairement de coquilles et de polypiers brisés, mélangés d'une certaine quantité de sable siliceux à grain plus ou moins gros, avec un peu d'argile ou de calcaire. Les fossiles les plus caractéristiques sont : *Cerithium papaveraceum*, *Turritella bicarinata, Voluta miocenica, Lima squamosa, Pecten striatus*, etc. A la partie supérieure se trouvent en quelques points des marnes noduleuses à *Helix turonensis*.

La roche est le plus souvent meuble ; quand elle est suffisamment calcaire, on s'en sert pour l'amendement des terres siliceuses, auxquelles elle apporte également du phosphate de chaux, grâce aux coquilles qu'elle renferme.

Elle est parfois agglutinée plus ou moins bien par un ciment calcaire ; c'est alors une sorte de mollasse tendre, poreuse, à texture très grossière, à laquelle on donne le nom de *grison*. Dans quelques localités, à Doué (Maine-et-Loire) notamment,

on y creuse des habitations qui, grâce à l'épaisseur du dépôt et à sa porosité, paraissent assez saines.

Ces dépôts faluniens se rencontrent surtout dans la Touraine. Ils sont généralement peu étendus et leur épaisseur ne dépasse pas 25 à 30 mètres. Ils sont accumulés dans des dépressions et manquent sur les parties saillantes. Assez irrégulièrement stratifiés, ils ont bien les caractères d'une formation de débâcle.

Les faluns de la Touraine terminent, dans le bassin même de Paris, la série des assises miocènes. Mais il y en a d'un peu plus récents près des bords, dans l'Anjou et la Bretagne, où ils forment aussi de petits lambeaux indiquant un retour de la mer dans les dépressions du massif paléozoïque de l'Armorique.

§ III.

SYSTÈME MIOCÈNE DE L'AQUITAINE.

831. Extension et division en assises. — Dans le bassin hydrographique de la Garonne, de la Dordogne et de l'Adour, qui correspond à peu près à l'ancien royaume d'Aquitaine, les terrains tertiaires recouvrent un vaste espace triangulaire limité à l'ouest par le golfe de Gascogne, au nord par les affleurements crétacés et jurassiques des Charentes, de la Dordogne et du Lot, à l'est par les schistes et les granites de la Montagne Noire, au sud par les Pyrénées. A l'est du méridien d'Agen, les dépôts sont entièrement lacustres ; des formations marines existent presque seules dans la partie sud-ouest ; la bande intermédiaire, de la Gironde à Tarbes, présente au contraire une série de formations alternativement marines et d'eau douce.

Le bassin de l'Aquitaine est loin de posséder dans chacune de ses assises l'uniformité et la régularité qui sont un des prin-

cipaux caractères du bassin de Paris. Sauf le long de la chaîne des Pyrénées, l'éocène y est mal représenté ; le pliocène se trouve surtout dans les Landes ; quant au miocène, il s'étend en nappes continues sur une grande surface, et en lambeaux isolés dans le Poitou, l'Angoumois et le Quercy.

Voici, d'après M. Raulin, quelle est la succession des assises de ce dernier système :

Etage falunien	6. Glaises bigarrées de la Chalosse. 5. Sables fauves de l'Armagnac.
Etage tongrien	4. Calcaires de l'Armagnac. 3. Calcaire lacustre de l'Agenais. 2. Calcaire à astéries. 1. Calcaire de Castillon à bithynies.

832. Calcaire de Castillon et calcaire à astéries. — Le calcaire de Castillon, qui vient au-dessus de la mollasse éocène du Fronsadais, est caractérisé par *Bithynia Duchasteli* et paraît être l'équivalent du calcaire de Brie. Ce sont des couches de marne et de calcaire marneux, que l'on emploie dans les Landes comme amendement. Dans le Bordelais, cette assise n'a pas plus de 4 à 5 mètres d'épaisseur ; elle n'existe pas partout.

Le calcaire à astéries est au contraire une assise puissante (40 mètres) de calcaire jaunâtre, avec de nombreuses articulations d'astéries, qui surmonte directement la mollasse du Fronsadais dans les escarpements de la Garonne et de la Dordogne de Bordeaux et de Libourne jusqu'au bourg du Bec-d'Ambez. Il a une grande analogie de texture avec le calcaire grossier des environs de Paris, mais il s'en distingue par ses fossiles qui permettent de l'assimiler aux sables de Fontainebleau, notamment le *Natica crassatina*. Comme ces sables, il présente souvent à sa base un banc argileux à *Ostrea longirostris*.

Le calcaire à astéries est l'objet de vastes exploitations à ciel ouvert et par travaux souterrains (Saint-Macaire, Frontenac, etc.) ; c'est lui surtout qui fournit les belles pierres de taille auxquelles la ville de Bordeaux doit son aspect monumental. Cette pierre est demi-dure, blanc jaunâtre, à grains irréguliers assez fins, un peu gréseuse. Elle se trouve en bancs de $0^m,20$ à $0^m,60$; elle pèse 2.250 à 2.400 kilogrammes le mètre cube et

s'écrase sous des charges de 150 à 350 kilogrammes par centimètre carré. Les bancs les plus purs sont utilisés pour la fabrication de la chaux grasse.

On rapporte au niveau du calcaire à astéries les *faluns bleus* qui se trouvent dans les Landes à Gaas et qui renferment, avec le *Natica crassatina*, de nombreuses nummulites dont plusieurs espèces sont identiques à celles de Biarritz.

833. Calcaire lacustre de l'Agenais. — Immédiatement au-dessus du calcaire à astéries, on observe dans le Bordelais une assise de calcaires marneux, de marnes et de sables argileux lacustres, dans laquelle sont intercalées quelques couches à fossiles marins tels que des cérithes de diverses espèces. Ce sont les *faluns de Bazas*.

Dans les environs d'Agen, où cette assise atteint de 80 à 100 mètres de puissance, elle se compose d'abord de couches alternatives de mollasses et de marnes, maculées de gris, de jaune et de vert, que surmonte une masse calcaire en général fort épaisse. Ce calcaire est exploité au nord de la ville ; il forme là une couche bien agrégée, sans lits de stratification, qui n'a pas moins de 15 mètres. Il est blanc ou d'un blanc légèrement rosé, et sur quelques points d'un brun jaunâtre. Beaucoup plus résistant et moins terreux que la plupart des calcaires d'eau douce de la région, il s'en distingue assez nettement tant par ce caractère que parce qu'il est extrêmement carié, surtout vers le haut de l'assise, qui est rempli de petites cavités horizontales.

Les fossiles sont assez rares dans le calcaire blanc de l'Agenais. On y signale notamment des hélices, entre autres *Helix Ramondi*. Dans les mollasses de la base on a trouvé des ossements d'*Anthracotherium*.

Au-dessus du calcaire blanc vient une mollasse coquillière, puis un calcaire marneux lacustre, gris foncé ou noirâtre, celluleux, fétide, qui est quelquefois intercalé entre deux bancs presque entièrement composés d'une huître à test épais, l'*Ostrea crispata*.

Toutes ces couches correspondent au calcaire de la Beauce ou aquitanien.

834. Calcaires de l'Armagnac. — Ces calcaires, qui ont plus de 300 mètres de puissance dans l'Armagnac, se divisent en deux assises lacustres séparées par un poudingue à galets calcaires. Ils correspondent aux sables de l'Orléanais et de la Sologne.

La première assise, qui forme les parties inférieure et moyenne de toutes les collines du haut Armagnac, se compose de marnes jaunes, grises, verdâtres et rougeâtres, dans lesquelles sont intercalés des grès et des calcaires.

Dans les environs de Condom et de Lectoure, on compte quatre masses calcaires principales réparties à des niveaux qui varient peu et très propres, par la constance de leurs caractères, à servir d'horizon au milieu du puissant dépôt argilo-marneux qui constitue la masse presque entière du terrain. Ces calcaires donnent en plusieurs points de bons matériaux de construction. L'un d'eux est formé par un agrégat de nodules sphéroïdaux de diverses grosseurs, empâtés dans un ciment dont la couleur diffère assez de celle de ces nodules pour donner à la roche l'apparence d'une brèche, ce qui justifie le nom de *calcaire bréchiforme* sous lequel le désigne M. Jacquot ; il renferme souvent beaucoup de moules intérieurs d'hélices.

Dans la partie septentrionale du Gers, le gypse se trouve au-dessus du calcaire bréchiforme en rognons lamellaires, semi-translucides, présentant à leur surface de nombreux cristaux et disposés au milieu des marnes en plusieurs lits superposés. Ces rognons sont généralement assez purs pour donner un plâtre de bonne qualité ; quand ils sont trop marneux on les utilise, après cuisson, pour l'amendement des prairies artificielles.

L'assise inférieure de l'Armagnac est terminée par une couche calcaire, très constante dans toute la région septentrionale du département du Gers. C'est elle qui forme la plus grande partie du sol du plateau élevé par lequel l'Armagnac se relie à l'Agenais, et ces escarpements rocheux que l'on aperçoit au sommet de tous les coteaux dans la partie basse des vallées de la Losse, de la Baïse, du Gers, etc. Marneuse et gélive sur certains points, elle est assez bien agrégée pour fournir des moellons et même des pierres de taille ; aussi donne-t-elle lieu dans cette contrée à de nombreuses exploitations. Elle recèle de plus

à sa base un niveau d'eau important, circonstance qui, jointe aux avantages qu'elle possède comme position défensive naturelle, avait déterminé les populations à s'établir à sa surface.

Ce calcaire est quelquefois assez argileux pour être employé à la fabrication d'une chaux moyennement hydraulique. Tel est le cas au Pénon près de Lectoure.

Le sommet de l'assise inférieure de l'Armagnac est remarquable près de Sansan, petit village de la vallée du Gers, par le gîte ossifère qui a rendu cette localité célèbre. Ce gîte se rencontre presque à la surface d'un petit plateau reposant sur des alternances de marne et de calcaire en couches minces sans continuité. Il consiste en nombreux débris de mammifères et de reptiles, dans lesquels Lartet a reconnu 98 espèces ; il y a en outre des restes d'oiseaux et de poissons qui n'ont pas encore été déterminés et quelques gastéropodes terrestres et lacustres. C'est là sans doute un dépôt de débâcle. On retrouve d'ailleurs des faunes semblables, quoique moins riches, sur beaucoup d'autres points du haut Armagnac.

Assise supérieure. — Au point de vue pétrographique, l'assise supérieure de l'Armagnac diffère d'une manière assez notable de l'assise inférieure. Le calcaire n'y joue plus qu'un rôle secondaire et il ne s'y montre, le plus souvent, qu'à l'état de simples nodules disposés par lits peu réguliers au milieu des mollasses sableuses qui constituent la masse presque entière de l'assise. Sur les collines des environs de Simorre, on a recueilli dans cette assise de nombreux ossements de mammifères parmi lesquels le *Dinotherium giganteum*.

Dans les environs de Mirande et de Lombez, les bancs de mollasse sont souvent assez agrégés pour donner des matériaux de construction passables.

A l'ouest du bassin de l'Aquitaine, notamment à Léognan sur la rive gauche de la Garonne, à Mérignac, à Saint-Paul-de-Dax, on trouve au-dessus des faluns lacustres de Bazas des faluns marins d'une vingtaine de mètres d'épaisseur moyenne. Ce sont des sables fins, siliceux, tantôt argileux ou mélangés d'une multitude de petits débris de coquilles, tantôt agrégés en mollasse par un ciment calcaire. Ils renferment parfois des gisements de fossiles d'une admirable conservation, qui les as-

similent aux faluns de la Touraine, entre autres *Turritella terebralis*, *Pecten burdigalensis*, *Scutella subrotunda*, etc., avec des dents de *Carcharodon megalodon* et des ossements de squales. Vers leur partie inférieure, à Saucats, à Baudignan, on trouve des coquilles lacustres ou des ossements de *Dinotherium* et de *Mastodon*, comme dans les calcaires de l'Armagnac.

835. Sables fauves de l'Armagnac. — Ce sous-étage, caractérisé par l'*Ostrea crassissima* et le *Cardita Jouanneti*, est principalement formé par un sable quartzeux, à grain fin, légèrement micacé et coloré d'une manière à peu près uniforme en brun clair ou fauve par une petite quantité d'oxyde de fer hydraté, qui lui communique en même temps une certaine consistance. On y trouve assez fréquemment du petit gravier siliceux gris ou noirâtre, disposé par lits peu réguliers.

Ce dépôt sableux renferme à différents niveaux des masses pierreuses à ciment calcaire, sortes de mollasses dans lesquelles le sable entre toujours en proportion plus ou moins considérable, en général minces et peu suivies. Dans la partie supérieure, le sable fauve est quelquefois tellement agrégé par l'oxyde de fer qu'il constitue un véritable grès ferrugineux.

Les faluns jaunes et bleus de Salles et d'Orthez appartiennent encore à ce sous-étage, qui est du même âge que les faluns de l'Anjou.

Les couches de mollasse sont rarement assez épaisses pour donner de la pierre de taille, mais on en tire de bons moellons qui suffisent aux besoins de la contrée sur laquelle elles s'étendent. On les exploite également pour l'entretien des chaussées, usage auquel elles sont plus propres que les calcaires lacustres, presque toujours plus ou moins marneux.

836. Glaises bigarrées de la Chalosse. — Ces glaises, qui sont surtout développées dans la région qui s'étend au sud de l'Adour et qui est connue sous le nom de *la Chalosse*, n'ont jamais plus de 10 mètres d'épaisseur. Elles se présentent partout avec des caractères identiques ; ce sont des argiles savonneuses, douces au toucher, qui, dans toutes les tranchées où elles sont mises à jour, ont une tendance très prononcée à cou-

ler. L'analyse y révèle la présence d'une proportion notable de magnésie. Elles ont généralement des nuances vives, rouges variés et très éclatantes, dues à l'oxyde de fer, dont elles contiennent d'ailleurs des grains irréguliers avec quelques concrétions d'oxyde de manganèse noir.

Elles sont éminemment propres à la fabrication des tuiles et des briques ; aussi on les exploite pour cet usage sur de nombreux points.

Les glaises bigarrées ne renferment point de fossiles qui puissent les caractériser et leur faciès est plutôt lacustre que marin. Toutefois, comme elles accompagnent les sables fauves de l'Armagnac partout où ils se montrent et alternent même parfois avec eux, il est tout indiqué de les placer comme ces sables à la partie supérieure du miocène.

§ IV.

MIOCÈNE LACUSTRE DU CENTRE DE LA FRANCE.

837. Configuration générale. — Le Plateau Central de la France présente, vers le milieu de sa lisière septentrionale, une large échancrure arrosée par l'Allier et qui constitue la région fertile connue sous le nom de Limagne d'Auvergne. Largement ouverte au nord et s'inclinant en pente douce vers les plaines de la Loire,elle est au contraire brusquement rétrécie vers le sud, à une vingtaine de kilomètres de Clermont. A l'ouest et à l'est, elle est limitée latéralement sur tout son parcours par deux grandes falaises de granite : la falaise du Forez, au pied de laquelle sont les deux villes de Thiers et de Vichy, et la falaise occidentale que couronne le Puy de Dôme.

Le rétrécissement de la Limagne au sud force l'Allier à couler dans une gorge étroite, resserrée entre deux murailles à pic. Mais bientôt la coupure s'élargit et s'ouvre dans le fertile bassin d'Issoire, de forme circulaire. Plus au sud, un nouveau

défilé fait communiquer la plaine d'Issoire avec le bassin de Brioude.

Le Plateau Central offre encore d'autres bassins allongés ou circulaires comme les précédents, véritables dépressions pareilles à des effondrements qui se seraient produits à sa surface. Ainsi dans le Forez, la grande vallée de Roanne, également ouverte vers le nord et rétrécie vers le sud ; le bassin de Feurs, circulaire comme celui d'Issoire et communiquant avec Roanne par le long et étroit défilé de Neulize ; les petits bassins de Murat et d'Aurillac dans le Cantal, et celui du Puy-en-Velay.

Toutes ces dépressions sont remplies par des dépôts lacustres de la période miocène. L'étude en est des plus intéressantes, parce que les phénomènes volcaniques ont joué dans leur formation un rôle important, en venant ajouter leurs déjections aux produits de la sédimentation.

Ces terrains n'ont presque nulle part conservé leur horizontalité primitive. Ils sont inclinés et disloqués par de nombreuses failles, dues à des actions mécaniques générales, indépendantes des manifestations volcaniques proprement dites. C'est ainsi, d'après M. Julien, que la Limagne a été séparée du bassin d'Issoire par un soulèvement dont la direction est transversale à l'axe de la vallée de l'Allier et dont la date est postérieure à celle du dépôt des dernières couches tertiaires, puisqu'on trouve dans les deux bassins la zone supérieure caractérisée par *Melania aquitanica.*

Si l'on fait une coupe transversale allant de la chaîne des Puys vers le Forez, on remarque que les couches tertiaires forment un pli concave qui en son point le plus bas, là où coule l'Allier, présente avec les extrémités les plus élevées de ses ailes une différence de 700 mètres. On peut en conclure que le bassin de la Limagne lui-même est le résultat d'une compression latérale dirigée de l'est vers l'ouest, postérieurement à la formation des couches à *Melania aquitanica*, qui ont été plissées comme les assises inférieures.

Tous ces bassins isolés sont des lambeaux épars, aujourd'hui effondrés, d'un grand dépôt lacustre, jadis en continuité parfaite et s'étendant largement du nord au sud, à travers les vastes plaines qui sont devenues le Plateau Central de l'époque ac-

tuelle. La vallée de la Limagne a bien les caractères d'une vallée d'effondrement comme celle du Rhin, et c'est au soulèvement des Alpes qu'on peut rattacher la poussée latérale qui, succédant à des mouvements précurseurs du sol, a achevé de lui donner son relief.

Il est possible de préciser davantage ce phénomène final. Il existe en effet à l'ouest de la Limagne, à Menat, un petit bassin enclavé dans les micaschistes, qui renferme dans ses strates d'innombrables empreintes végétales de l'époque des faluns de la Touraine. Tout porte à croire que le plissement de la Limagne est contemporain de celui de Menat ; il se serait donc produit vers la fin de la période miocène et coïnciderait avec le retrait de la mer falunienne.

838. Bassin de la Limagne. — C'est dans le bassin de la Limagne que les dépôts tertiaires atteignent leur maximum de développement et leur plus grande épaisseur, qui est de 300 à 400 mètres. Les autres bassins sont moins complets, probablement par suite d'érosions qui ont enlevé les couches supérieures.

Grès et argiles. — A la base se trouvent des grès durs, des graviers et des argiles bariolées, plus ou moins sableuses, d'une cinquantaine de mètres de puissance environ, qui résultent de la désagrégation, presque sur place, des roches anciennes formant le fond du bassin. On y retrouve en effet des fragments de granite, de gneiss, de micaschiste, de schiste argileux, etc., mais sans aucun mélange de roches volcaniques de la région. Ces couches ne sont d'ailleurs pas continues ; elles sont plutôt disposées dans le bassin, suivant la remarque de Lyell, comme les deltas indépendants qui se forment à l'embouchure des torrents sur les bords des lacs actuels.

Cette assise est peu fossilifère ; on y trouve quelques empreintes végétales et de rares coquilles, mal conservées, écrasées, presque indéterminables. Elle paraît être de l'âge des sables de Fontainebleau.

Les grès durs sont désignés dans le pays sous le nom d'arkoses. De nombreuses carrières y sont ouvertes et fournissent d'excellents matériaux de construction.

Calcaires, argiles et cendres. — Au-dessus des couches précédentes vient un groupe composé de bancs calcaires et marneux, alternant avec des lits d'argiles et de cendres volcaniques. On peut y introduire quatre divisions :

4. Zone à *Melania aquitanica.*
3. Zone à *Helix Ramondi.*
2. Zone à *Limnœa pachygaster.*
1. Zone à *Potamides Lamarcki.*

La première assise comprend des calcaires jaunâtres, tantôt en bancs épais d'une compacité moyenne, tantôt en feuillets réguliers excessivement minces. Elle renferme des empreintes végétales, des graines de *Chara*, des poissons du genre *Lebias*, de nombreux insectes et des plumes d'oiseaux. On y trouve du gypse que l'on exploite pour l'agriculture.

La seconde assise, caractérisée par une limnée de grande taille, *L. pachygaster*, est principalement argileuse. Dans quelques localités (Chauffour, la Sauveterre, Antoingt), elle est riche en ossements fossiles.

La zone suivante, bien plus épaisse que les autres puisqu'elle ne mesure pas moins de 200 mètres, présente l'*Helix Ramondi* et autres coquilles terrestres sur toute cette hauteur. Le lac qui jusque là couvrait la Limagne avait donc disparu pour ainsi dire et se subdivisait en une multitude d'étangs et de marais. C'est à ce moment précis que l'on peut fixer les premières manifestations des volcans d'Auvergne, car les couches inférieures ne renferment pas encore de débris volcaniques. Des pluies de cendres basaltiques, tombant dans les marécages, s'étalaient au fond et se mêlaient à la vase calcaire pour former des couches, généralement assez bien stratifiées et de plus en plus épaisses, de *pépérites*.[1]

Ces marécages étaient habités par des myriades de *phryganes*, insectes voisins des éphémères, qui, pour protéger leurs corps contre les poissons, l'enveloppent d'un tube construit tantôt avec de petits morceaux de bois, tantôt avec des grains de sable, tantôt avec de petites coquilles. C'est ce dernier moyen qu'employaient les phryganes de l'Auvergne, et l'accumulation

1. De l'italien *peperino.*

de leurs tubes ou *induses* (fig. 516) forme ce curieux calcaire, connu sous le nom de *calcaire à induses* ou *calcaire à phryganes* (fig. 517), intercalé dans les pépérites.

Fig. 516. — Phrygane.

Fig. 517. — Calcaire à induses. Coquillle ayant servi à faire les tubes.

A ces pépérites et à ces calcaires se mêlaient des produits de l'activité thermale. Les eaux jaillissantes, qui accompagnaient la sortie des basaltes et la projection des cendres, déposaient des travertins de nature variée, tantôt des silex concrétionnés, tantôt des calcaires siliceux compacts ou finement rubanés, tantôt des travertins exclusivement calcaires.

D'innombrables gisements fossilifères se rencontrent dans la vallée de l'Allier. A Gannat, une forêt entière de cycadées a été incrustée par des eaux thermales jaillissantes. A Saint-Gérand-le-Puy, dans une seule carrière, M. Julien a compté deux cents œufs enchâssés dans la roche. Quant aux ossements d'oiseaux et de mammifères, c'est par centaines de mille qu'on les recueille dans ces parages et ils sont souvent d'une conservation parfaite. Des combats incessants devaient se livrer entre ces animaux, si l'on en juge par les os cassés et ressoudés, par les traces de dents de rongeurs que portent plusieurs d'entre eux, etc. On a retrouvé des os calcinés, ce qui semblerait indiquer que de fréquents incendies, dus sans doute à la foudre, s'allumaient dans les forêts de cette époque. Il est probable que les émissions basaltiques étaient accompagnées de torrents d'acide carbonique, qui contribuaient avec les inondations à faire périr une foule d'animaux. C'est ainsi que dans les environs de Montpensier (Allier) les oiseaux sont quelquefois encore surpris de nos jours par des émanations asphyxiantes.

La zone à *Melania aquitanica*, qui termine la série tertiaire

de la Limagne et qui correspond aux sables de l'Orléanais, est bien développée à la montagne de Gergovie, près de Clermont-Ferrand, où elle est intercalée entre deux nappes de basalte. C'est un dépôt d'origine fluviatile, consistant en calcaire marneux et sables, avec débris de plantes à affinités australiennes, formé par un Allier tertiaire. De grands fleuves descendus du Plateau Central arrosaient alors du reste les plaines de l'Orléanais.

§ V.

FORMATION SIDÉROLITHIQUE.

839. Caractères généraux. — Le groupe tertiaire se présente dans certaines contrées avec un faciès tout spécial. Ce ne sont plus des couches sédimentaires plus ou moins fossilifères, comme celles que nous avons étudiées jusqu'à présent ; ce sont des argiles qui remplissent des poches irrégulières creusées dans le calcaire et au milieu desquelles sont disséminés le plus souvent des minerais de fer concrétionnés, quelquefois aussi des phosphorites et des concrétions siliceuses. C'est à la présence fréquente du minerai de fer que cette formation doit son nom de *sidérolithique*.

Le remplissage paraît avoir été effectué dans la majorité des cas par des sources minérales, à la manière de celui des filons concrétionnés. L'argile serait le plus souvent un résidu de la dissolution du calcaire, ce qui semble démontré par les traces de corrosion que l'on constate sur les parois des poches. Il y a généralement d'ailleurs des indices bien nets d'alignement entre les poches d'une région déterminée ; d'où l'on est en droit de conclure que les émanations internes se sont produites par des fissures en ligne droite, dont on peut déterminer les relations avec les grands mouvements qui ont affecté le sol. Dans quelques cas, le remplissage s'est fait de haut en bas par des eaux superficielles.

C'est presque toujours à la surface des calcaires jurassiques, rarement des calcaires crétacés, que se trouvent les poches sidérolithiques. On a ainsi une limite inférieure de leur âge. Quand elles affleurent, on ne peut généralement rien dire de plus précis ; mais lorsqu'elles sont recouvertes par des couches fossilifères, on peut déterminer assez exactement l'époque de leur formation et on a reconnu qu'elles appartiennent au commencement du miocène ou à la fin de l'éocène. On a étendu par analogie cet âge à toutes les autres poches, peut-être trop précipitamment, car il est peu probable que les actions thermales qui leur ont donné naissance se soient cantonnés dans un aussi court laps de temps.

840. Minerais de fer. — Les minerais de fer sidérolithiques sont souvent désignés, fort improprement d'ailleurs, sous le nom de *minerais d'alluvion* ; ils sont généralement riches et purs et ce sont eux qui ont fait la vieille réputation des fers de la Moselle, de la Franche-Comté et du Berry.

Leur état le plus habituel est celui de grains isolés, comparables par la forme et la grosseur à des pois et disséminés dans l'argile, ce qui leur a fait donner le nom de *minerais en grains* ou *minerais pisolithiques* ; mais ils se présentent aussi en rognons, en tubercules ou en nodules de toutes dimensions, pouvant atteindre jusqu'à plus de 100 mètres cubes, où la structure en couches concentriques est toujours bien accusée par la cassure fibreuse.

Les principaux gîtes connus occupent des cavités de forme irrégulière, creusées dans les calcaires jurassiques, dont la profondeur descend à 40 mètres dans la Dordogne, à 100 mètres en Alsace et même à 250 dans la Carniole. Les dispositions de ces cavités sont des plus capricieuses ; ce sont des fentes étroites comme des filons ou des puits, des poches, des chambres s'étendant parfois parallèlement aux couches, de manière à produire l'illusion d'un amas contemporain alternant avec elles.

Les gîtes sont généralement groupés dans des zones qui sont en rapport avec les grands accidents de la contrée. Ainsi dans la Moselle, M. Jacquot a fait ressortir l'existence de deux

systèmes d'alignement (fig. 518) : l'un, que l'on retrouve dans la direction des failles et de toutes les grandes vallées du pays Messin et qui forme ainsi le trait caractéristique de cette région, fait avec l'est un angle de 30 à 40 degrés du côté du nord ; l'autre s'éloigne peu de la ligne nord-sud. Non seulement les fissures y sont remplies d'argile à minerai de fer, mais celle-ci s'étend encore à la surface du sol sur une certaine épaisseur, de manière à relier entre elles les cavités isolées.

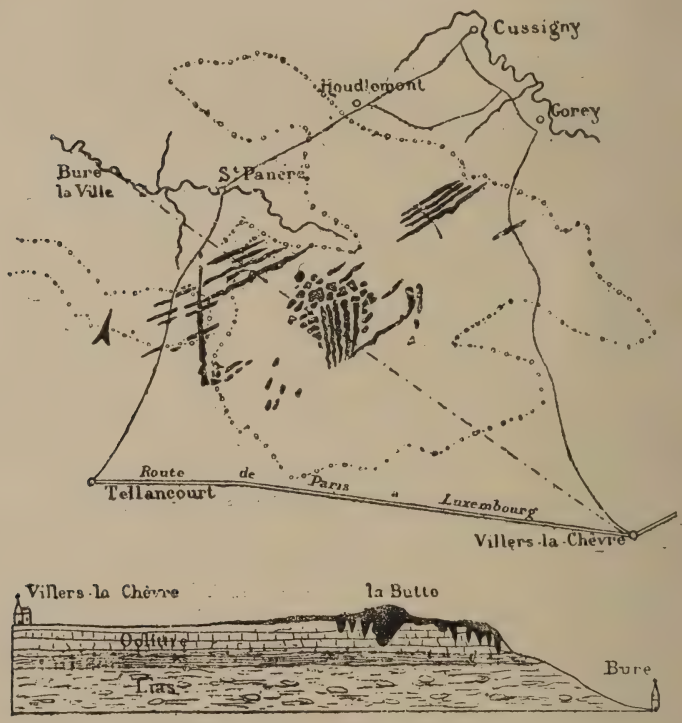


Fig. 518. — Plan et coupe des dépôts sidérolithiques de la Moselle.

Le mode de formation par des sources minérales, tenant en dissolution de l'oxyde de fer et de la silice au moyen de l'acide carbonique dont elles étaient chargées, apparaît ici très nettement et rend bien compte de toutes les circonstances des gisements. Il explique comment l'oxyde de fer et la silice ont

pu se substituer soit à des fragments de calcaire jurassique, de manière à en reproduire la structure et à conserver les empreintes des fossiles, soit aux bois qui croissaient sur le sol que ces gîtes occupent. D'un autre côté, l'action corrodante exercée sur les parois de la roche encaissante par les eaux qui ont amené le minerai est un des faits les plus saillants que ces sortes de dépôts offrent à l'observation ; cette roche est quelquefois perforée en tous sens sur une épaisseur de plusieurs centimètres. Enfin ce qui achève d'emporter la conviction, c'est l'état concrétionné des minerais et des masses siliceuses, état tout à fait semblable à celui des dépôts qui se forment de nos jours dans un grand nombre de sources minérales.

La détermination de l'âge de cette formation a donné lieu à de nombreuses discussions. Les divergences tiennent surtout à ce que les termes de comparaison n'ont pas toujours été choisis parmi les véritables minerais sidérolithiques, ou à ce qu'on a trop négligé de tenir compte des remaniements opérés postérieurement sur ces sortes de dépôts par les eaux quaternaires.

Les gîtes des environs de Mirebeau (Côte-d'Or) sont enclavés entre deux couches de calcaire lacustre avec lymnées, planorbes et paludines ; ce qui établit nettement leur âge tertiaire. Ceux du val de Delémont (Suisse) renferment des ossements de *Palæotherium crassum*, propres aux gypses de Montmartre, et ils sont recouverts par des marnes marines contenant les mêmes fossiles que celles du sommet de Montmartre ; ils ne sont par conséquent pas plus anciens que ces gypses. Dans le Berri, le calcaire lacustre qui recouvre les minerais en grains correspond au calcaire miocène de Château-Landon.

841. Phosphorite du Quercy.— Les gisements de phosphate de chaux découverts dans le Quercy sont tous situés sur les calcaires compacts et quelquefois spathisés de l'oxfordien ou du bajocien, qui s'étendent dans les départements de Tarn-et-Garonne, de l'Aveyron et du Lot. C'est surtout dans les environs des deux petites villes de Caylux et de Saint-Antonin que se trouvent les dépôts les plus importants.

La phosphorite remplit des cavités formées par les crevasses ou les fissures de ces calcaires. Elle y est accompagnée par une argile ou plutôt une masse argilo-calcaire, rougeâtre ou jaunâtre, parfois très riche elle-même en phosphate et contenant quelques grains ferrugineux. Les dimensions de ces cavités sont d'ailleurs fort variables ; tandis que les unes ne renferment qu'une quantité insignifiante de phosphorite, d'autres, comme à Larnagol, en ont donné plus de 25.000 tonnes.

Le phosphate de chaux se présente toujours à l'état amorphe ; il est généralement concrétionné comme le calcaire ou la calamine ; quelquefois il a la structure de l'agate ou du quartz résinite. Il est le plus souvent de couleur jaune rougeâtre ou brune, parfois bleuâtre ou noire. Dans quelques gisements, il forme des bancs massifs ; on le rencontre aussi soudé au calcaire jurassique des parois, dont il est difficile de le détacher.

Ces gisements ne dépassent jamais l'altitude de 350 mètres et ils sont en relation évidente avec les terrains tertiaires de la région, car on ne les rencontre que dans le voisinage d'îlots éocènes. On s'accorde généralement à les rapporter à la fin de la période éocène. On a trouvé en effet à Lamandine-Basse, près de Caylux, des coquilles lacustres de cette époque au milieu des marnes phosphatées. Des ossements de mammifères de la même époque, *Palæotherium*, *Anoplotherium*, *Xiphodon*, etc., confirment cette manière de voir. Il y a cependant aussi quelques débris de mammifères pliocènes, mais leur présence peut s'expliquer par des remaniements postérieurs.

Si l'on s'en rapporte à la direction générale suivant laquelle s'alignent la plupart des poches de phosphorite, les sources minérales qui ont amené cette substance seraient venues au jour par une série de fissures orientées N. 25° E.

La richesse moyenne de ces phosphates est de 32 à 38 pour 100 d'acide phosphorique. L'analyse chimique y a dévoilé de plus la présence du fluor, du chlore, de l'iode et du brôme ; l'iode est parfois même en proportion assez élevée (2 millièmes) pour qu'on ait songé à l'extraire.

L'exploitation des gîtes du Quercy a eu son maximum d'in-

tensité de 1875 à 1880, où elle a dépassé annuellement une cinquantaine de mille tonnes. Elle s'est ralentie graduellement depuis cette époque, les grands amas ayant été promptement vidés et l'exploitation des poches plus petites, ainsi que celle des terres phosphatées pauvres, n'étant plus rémunératrice dans l'état actuel de l'industrie des phosphates.

§ VI.

TYPES DIVERS DU SYSTÈME MIOCÈNE.

842. Mollasse de la Provence et du Languedoc. — Au-dessus de l'assise des gypses d'Aix et de Gargas (n° 809), que plusieurs géologues placent sur le niveau des glaises vertes du bassin de Paris, le miocène comprend un puissant dépôt de mollasse qui pourrait être considéré comme le type du miocène méridional à cause du rôle considérable qu'il joue dans les régions méditerranéennes.

On observe notamment ce dépôt dans le bassin d'Aix où il se divise en deux assises. La première, lacustre ou saumâtre, consiste en marnes grises, bleuâtres ou jaunâtres, souvent micacées, à *Helix Ramondi*.

La seconde assise est un calcaire habituellement grossier, de formation franchement marine, composé en grande partie de débris de coquilles et de polypiers plus ou moins liés par un ciment calcaire. Il prend assez fréquemment les caractères des faluns et offre, surtout à sa partie supérieure, des couches presque entièrement formées de grandes huîtres (*Ostrea crassissima*, *O. longirostris*). Cette assise comprend aussi quelques dépôts d'eau douce disséminés et parfois développés, comme à Marseille, aux dépens des couches marines.

La pierre de Beaucaire, exploitée de temps immémorial comme en témoignent les immenses excavations qui se trouvent autour de cette ville, appartient à l'assise supérieure de

la mollasse. On en distingue diverses variétés : la *pierre dure*, dite *Roquepartide*, du lieu de l'extraction, à grain un peu grossier, non gélive, dure à travailler, la plus résistante de toutes, que l'on emploie de préférence pour les travaux publics (ouvrages d'art du chemin de fer de Nîmes à Beaucaire, gare de Nîmes, etc.); la *pierre blanche*, qui sert aux constructions ordinaires ; la *grisette*, variété la plus belle et la plus estimée, homogène, à grain très fin, tenant très bien l'arête, réservée pour les constructions de luxe.

Les beaux ponts romains de Sommières et du Gard ont été construits avec la mollasse coquillière à grain grossier. Les carrières ouvertes pour ce dernier pont se trouvent à 700 mètres en aval, sur les bords mêmes du Gardon ; la pierre était probablement rendue à pied d'œuvre au moyen de radeaux.

Près de Villeneuve-lès-Avignon, la mollasse a été exploitée en 1316 pour l'établissement du palais papal ; les murs n'ont aucune trace d'altération, ce qui est une preuve de la qualité de cette pierre. C'est avec la même pierre que paraît avoir été construit, en 1178, d'après Emilien Dumas, le fameux pont de Saint-Bénézet, dont il ne reste plus que trois arches sur la rive gauche du Rhône à Avignon.

843. Mollasse subalpine. — La grande plaine ondulée qui s'étend en Suisse au pied du versant septentrional des Alpes est comblée et bordée par une formation très épaisse, en partie lacustre et en partie marine, qui consiste presque entièrement en mollasse. C'est un grès tendre à ciment calcaréo-argileux, avec quelques couches marneuses, argileuses ou calcaires, dans lequel sont intercalés à différents niveaux des bancs plus ou moins puissants d'un poudingue connu sous le nom de *nagelfluh* (n° 466). Parmi ces conglomérats, les uns sont à noyaux entièrement calcaires ; les autres, à galets de roches cristallines, comprennent des fragments venus non seulement des Alpes, mais encore des Vosges et de la Forêt-Noire, tels que des granites, des porphyres, etc. Le volume considérable que prennent quelques-uns des galets montre quelles devaient être l'intensité des oscillations qui agitaient

le massif alpin, déjà en partie exhaussé, et la puissance des érosions qui en étaient la conséquence.

Par suite de mouvements postérieurs à son dépôt, la mollasse a été violemment refoulée sur les Alpes et elle se présente actuellement en couches contournées. Cette compression latérale a été tellement prononcée qu'au Righi et en plusieurs autres points, le plongement des couches est dirigé vers les Alpes, et que la mollasse paraît ainsi supporter en concordance les assises nummulitiques et crétacées, renversées comme elle.

Cette formation constitue généralement des collines boisées aux contours mollement arrondis. Elle pénètre cependant aussi dans les régions élevées ; ainsi le Righi a pour roche principale une masse énorme de nagelfluh.

La mollasse suisse comprend plusieurs divisions dont l'équivalence a pu être établie, grâce à ses débris organiques, avec les termes de la série classique, depuis le calcaire de Beauce jusqu'aux marnes à *Helix turonensis*. C'est à ce dernier niveau qu'appartiennent les couches d'Œningen, sur le bord du lac de Constance, depuis longtemps célèbres par la découverte de la grande salamandre désignée sous le nom d'*Andryas Scheutzeri* (fig. 519) et qui comprennent des calcaires en minces plaquettes, d'une richesse extraordinaire en insectes, poissons, reptiles, végétaux, etc.

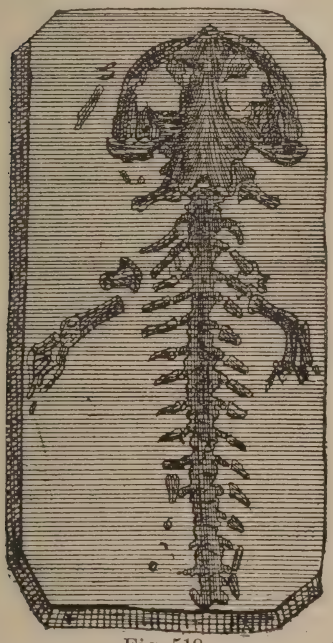


Fig. 519.
Andryas Scheutzeri.

M. Heer a reconnu dans cette seule localité près de cinq cents espèces de plantes, dont la plupart sont des formes européennes mêlées à des types aujourd'hui relégués en Asie, en Afrique et en Amérique. Il a pu non seulement reconstituer la forêt

miocène qui bordait le lac, mais encore y déterminer l'ordre des saisons et le temps de floraison des diverses espèces. Ainsi les fleurs de camphrier annoncent le printemps ; les fruits d'orme, de peuplier et de saule, l'été ; ceux de camphrier et de clématite, l'approche de l'automne. On constate encore l'été à la présence d'ailes de fourmis, placées à côté de fruits mûrs de tamarinier sur la même plaque.

D'après M. Heer, il y avait alors à Œningen un climat analogue à celui de Madère et du Japon méridional, correspondant à une moyenne annuelle de 18 à 19 degrés. L'hiver, particulièrement doux, suspendait quelque peu la végétation, mais sans l'interrompre.

844. Couches à congéries. — La mollasse de la vallée du Rhône, dans le comtat Venaissin et le bas Dauphiné, est ravinée par des couches saumâtres de marnes, de grès calcaires et de faluns, caractérisées par des congéries ; on les observe notamment aux environs de Bollène, où la discordance de stratification accusée par le ravinement est très nette [1].

Ces couches saumâtres se retrouvent en Autriche, où elles forment le sous-sol de la ville de Vienne et se signalent par la forme étrange que prennent les congéries, ainsi que par des mélanopsis et des paludines couverts de tubercules ; dans le bassin du Pô, aux environs de Tortone ; dans toute la région aralo-caspienne. Elles correspondent aux derniers efforts de la Méditerranée miocène et témoignent du mouvement d'émersion qui s'est étendu à toute l'Europe occidentale et à l'Asie orientale, et à la suite duquel l'Afrique s'est trouvée momentanément reliée à l'Europe.

Les limons rouges de Pikermi près d'Athènes, au pied du Pentélique, et ceux du mont Léberon en Provence paraissent représenter l'assise la plus élevée de la série miocène. On ne voit pas précisément leur superposition aux couches à congéries ; mais il semble que telle est bien leur position stratigraphique si l'on s'en rapporte aux observations faites dans le

1. Plusieurs géologues placent les couches à congéries à la base du pliocène.

bassin de Vienne, où une faune semblable à celle de ces localités se trouve au-dessus des congéries.

C'est de ce limon que M. Gaudry a exhumé un si grand nombre de restes de mammifères. Cette faune abondante et variée témoigne qu'à la fin de la période miocène l'Attique et la Provence étaient couvertes de lacs, sur les rives desquels se tenaient des rhinocéros sans cornes et de grands proboscidiens, d'opulents pâturages qui nourrissaient d'immenses troupeaux de ruminants et de solipèdes, et de vastes forêts dans lesquelles vivaient des singes, des antilopes et des cerfs.

§ VI.

ALPES OCCIDENTALES.

845. Constitution générale. — Les Alpes constituent le massif le plus imposant de toute l'Europe. Nous ne nous occuperons ici que de leur partie occidentale, dont les crêtes continues forment la frontière de la France depuis le lac de Genève jusqu'à la Méditerranée, et où se trouvent les sommets les plus élevés : le Mont Blanc (4.815 mètres), le Mont Rose (4.638), le Pelvoux (3.934), le Mont Viso (3.840).

Les Alpes occidentales ne présentent pas le même caractère d'unité que les Pyrénées. C'est une série non interrompue de chaînes ou de massifs montagneux, qui paraissent se succéder sans ordre. On peut cependant y distinguer avec M. Lory, dont les beaux travaux nous serviront de guide, un certain nombre de régions qui s'individualisent assez bien au double point de vue orographique et stratigraphique (fig. 520).

A l'ouest se présente tout d'abord la région des *chaînes subalpines*, qui confine près de Grenoble aux derniers prolongements des chaînes du Jura et qui est séparée des Alpes proprement dites par la faille du Grésivaudan. Cette faille est marquée de la manière la plus nette aux environs de Grenoble par la

grande vallée de l'Isère, ou vallée du Grésivaudan, et la vallée du Drac; elle se prolonge au nord au-delà d'Albertville. D'autres failles longitudinales découpent en gradins abrupts ou en lon-

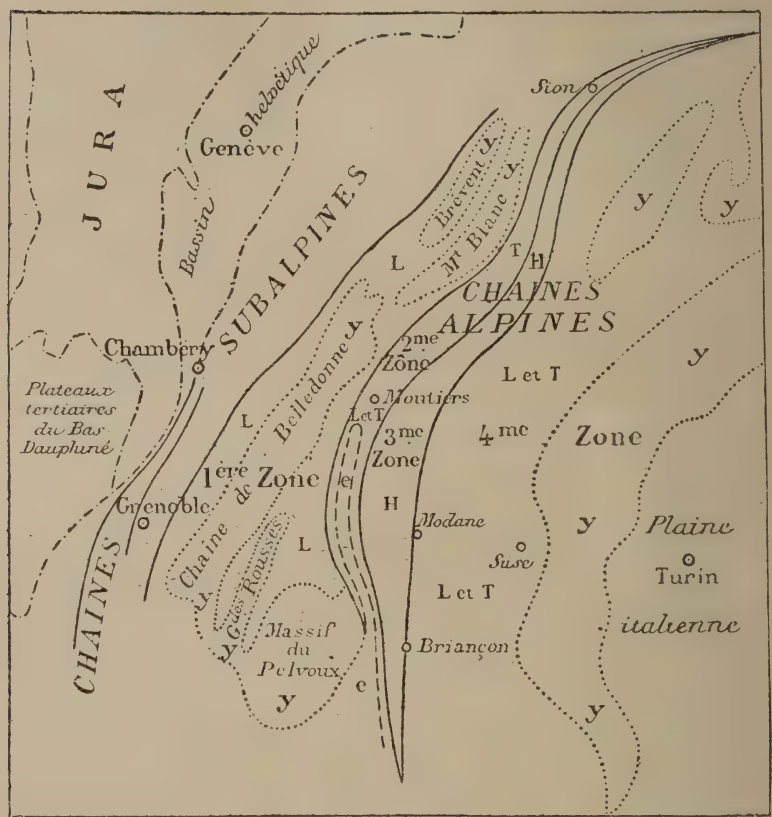


Fig. 520. — Zones des Alpes occidentales.

—·—·— Limites du Jura et des chaînes subalpines.
——— Failles limitant les diverses zones.
..... Limites des massifs cristallins (y).
— — — Limite du golfe éocène de la Maurienne.
H, terrain houiller; T, trias; L, lias.

gues crêtes les couches de cette région, qui consistent presque entièrement en roches appartenant aux terrains jurassiques et crétacés. C'est au bord même de la grande faille limite que ces terrains présentent leur plus grande puissance, pour se terminer

par ces magnifiques escarpements calcaires qui contrastent avec les formes des montagnes alpines, composées de roches plus anciennes, auxquelles ils font face.

La région des *chaînes alpines* se divise en quatre zones d'importance inégale, séparées par de grandes failles arquées suivant le sens de la courbure générale des Alpes, qu'il n'est d'ailleurs pas toujours facile de suivre, surtout au milieu des terrains cristallins. Elles ne se trahissent que rarement en effet par de fortes dénivellations à la surface du sol, et sont jalonnées par une succession de vallons plutôt que par une dépression continue.

La première zone, qui succède aux chaînes subalpines, est limitée à l'est par une faille qui prend naissance sur le versant oriental du massif du Pelvoux en Vallouise, et que l'on peut suivre sans interruption sur un parcours de 180 kilomètres par le Lautaret, Saint-Jean-de-Maurienne, Aigueblanche, le col de la Seigne, le col Ferret et Sembranchier, où elle rejoint la vallée du Valais près de Saxon.

La quatrième zone, qui est la plus large de toutes, est bordée à l'ouest par une faille-limite que l'on reconnaît, comme la précédente, depuis les Alpes maritimes jusque dans la Suisse orientale, et qui passe par Briançon et Modane. Elle s'arrête au lac Majeur en Italie, où elle est longée par une chaîne de collines subalpines.

La deuxième et la troisième zones, beaucoup plus étroites que les deux autres et séparées par une faille passant au col Fenêtre, à Bourg-Saint-Maurice, au col des Encombres, ne sont bien distinctes que de Briançon à Sion. A l'est de cette dernière localité, les trois failles-limites viennent converger, et le concours de ces dislocations peut être légitimement regardé comme la cause originelle de la grande vallée longitudinale du Rhône supérieur.

Depuis les premiers gradins calcaires du versant français, toutes les grandes failles qui traversent longitudinalement les Alpes sont du même sens et relèvent la série des terrains par échelons successifs jusqu'à la faille limite de la deuxième et de la troisième zones, qui fait surgir un massif important de grès à anthracite. Mais de l'autre côté de ce massif, à Briançon,

à Modane, etc., la compensation s'établit par une faille inverse qui abaisse l'ensemble des terrains vers l'Italie.

En dehors des failles longitudinales, les Alpes sont découpées par des fractures transversales qui, au contraire des cluses du Jura, entament souvent plusieurs chaînes à la fois. C'est par ces coupures que passent les grandes voies de communication qui traversent ces montagnes.

Les Alpes sont presque entièrement constituées par des terrains primitifs et sédimentaires. Les roches franchement éruptives sont loin d'avoir une importance proportionnée à la masse de ces montagnes et n'y jouent qu'un rôle effacé ; ce sont surtout des roches vertes contemporaines du trias, telles que des serpentines, des diorites, des euphotides, des variolites.

Nous allons maintenant examiner avec M. Lory les principales particularités de la composition et de la structure géologiques des quatre zones alpines, en commençant par la quatrième où le terrain primitif se présente avec son maximum de développement.

846. Quatrième zone alpine. — On observe dans cette zone, dite aussi *zone du Mont Rose*, la même succession de roches primitives que dans le Plateau Central, suivant l'ordre classique indiqué depuis longtemps par Cordier.

A la base ce sont des gneiss à deux micas, l'un noir, l'autre blanc ou un peu verdâtre, prenant en partie la texture granitoïde et reposant sur un substratum encore inconnu ; la structure feuilletée y est à peine sensible, mais ils sont néanmoins nettement stratoïdes en grand. Ces roches passent à des gneiss de plus en plus schisteux, puis à des micaschistes dans lesquels sont intercalées des couches concordantes de cipolin ou de calcaire saccharoïde pur.

Au-dessus vient un groupe considérable de schistes chloriteux et de schistes amphiboliques, alternant ensemble et se remplaçant les uns les autres avec un développement variable. Enfin la série se termine par le groupe des talcschistes, qui ne renferment qu'accessoirement du talc proprement dit, mais bien plutôt cette variété de mica nacré, talcoïde, appelée *séricite*.

Ces différents groupes pétrographiques de schistes cristallins ne sont point rigoureusement séparés les uns des autres ; ils correspondent seulement à la prédominance de tel ou tel type dans les diverses parties de la série primitive. C'est ainsi que de vrais micaschistes, et même de vrais gneiss granitoïdes, n'indiquent point nécessairement la base de cette série.

Le trias succède directement aux schistes primitifs, avec lesquels il paraît en concordance de stratification. On y retrouve les trois étages de la Lorraine, mais avec un faciès différent. Les grès bigarrés sont tellement durs qu'ils ressemblent à de véritables quartzites. Le muschelkalk est faiblement représenté par des calcaires magnésiens avec quelques fossiles. Quant au saliférien, il acquiert une très grande importance et consiste surtout en schistes et grès lustrés très micacés, dont l'épaisseur peut atteindre plusieurs milliers de mètres.

Presque toutes ces couches ont une texture cristalline prononcée. Les calcaires et les dolomies sont généralement grenus ou saccharoïdes ; des cristaux d'albite s'y sont développés ; les schistes lustrés contiennent des minéraux cristallisés qui s'y sont formés postérieurement à leur dépôt. Cette texture uniforme, en rapport intime avec la stratification, est le résultat d'un métamorphisme régional.

La structure de la quatrième zone est relativement simple. Les couches, presque horizontales dans la partie centrale, plongent des deux côtés, formant en grand une sorte de voûte dont la clef rompue laisse voir le terrain primitif, tandis que les reins sont triasiques avec des lambeaux liasiques.

Le tunnel du Mont-Cenis, qui met en communication le réseau des chemins de fer français avec le réseau italien, a été percé sur la limite occidentale de cette zone. Voici quels sont les terrains qu'il a traversés à partir de Modane :

1. Grès micacés	2.096 m.
2. Quartzites	388
3. Calcaires durs, dolomies, anhydrites	356
4. Schistes calcaires	9.393
	12.233

Les grès micacés, fortement redressés, appartiennent à l'é-

tage houiller que nous verrons prendre un si grand développement dans la zone suivante ; s'ils ne contenaient quelques couches d'anthracite, on les prendrait volontiers pour des talcschistes, dont ils ont l'éclat gras et brillant et souvent la cassure feuilletée.

La deuxième et la troisième assises appartiennent au trias. Les quartzites sont blancs, très durs, à cassure très finement grenue ; ils se divisent en couches assez minces vers la surface d'affleurement, mais ils deviennent très massifs et très compacts dans l'intérieur du sol ; ce sont les seules roches qui aient offert de véritables difficultés et retardé le travail.

Les schistes calcaires, d'abord aussi inclinés que les couches précédentes, finissent par devenir presque horizontaux. On les a trouvés faciles à perforer ; mais ils avaient une tendance sensible à se déformer sous les pressions supérieures, à tel point que les ingénieurs ont été obligés de modifier la coupe du tunnel et de faire une voûte elliptique du côté de Bardonèche, tandis que du côté de Modane la voûte est à plein cintre. Ces schistes sont rapportés au lias.

847. Troisième zone alpine. — Les grès à anthracite constituent l'élément presque exclusif de la troisième zone, qui occupe la plus grande partie de la Maurienne, de la Tarantaise et du Briançonnais ; ils appartiennent, comme on sait, à l'étage houiller (n° 642). En quelques endroits, notamment au pont de Saint-André près de Modane, les schistes cristallins primitifs apparaissent sous ces grès, dont les couches sont en concordance avec leurs feuillets. De plus, sur une foule de points de la limite orientale de la zone, on voit, à la partie inférieure des grès, des conglomérats plus ou moins grossiers, formés de fragments à peine roulés de schistes cristallins identiques à ceux qui affleurent dans le voisinage.

Cette bande étroite de grès à anthracite forme comme la clef de voûte de l'édifice alpin, et si aujourd'hui elle n'est pas la plus saillante, cela peut provenir des dégradations auxquelles, par sa nature pétrographique et sa position, elle a dû être exposée plus que tout autre. Sa faille-limite orientale est parfois très nette, notamment à Modane, où la lèvre supérieure est tournée vers l'est.

848. Deuxième zone alpine. — La deuxième zone est constituée dans toute sa moitié septentrionale, depuis les environs de Moutiers jusqu'à Sion, par les assises du trias avec les mêmes caractères pétrographiques et la même épaisseur que dans la quatrième zone. C'est au muschelkalk qu'appartiennent les marbres de l'Etroit-de-Ciex, entre Moutiers et Aime, les dolomies à cristaux d'albite du col de la Seigne, etc. L'étage des schistes lustrés contient de nombreuses intercalations de poudingues, souvent très grossiers, à blocs à peine roulés, qui témoignent de dislocations violentes à certains moments ou de la présence de falaises abruptes dominant les rivages. Au milieu de ces schistes sont intercalés de puissants dépôts de gypse et d'anhydrite, souvent imprégnés de sel, comme à Moutiers.

Dans la partie méridionale, le trias est moins épais et reprend une physionomie plus normale. Par suite d'un affaissement entre des failles, la mer nummulitique a envahi cette région pour y former un golfe long et étroit dans lequel s'est entassée une épaisseur considérable de dépôts (1.500 mètres au moins) consistant surtout en grès, calcaires et schistes parfois propres à la fabrication des ardoises, avec nummulites et fossiles tertiaires. A la base sont souvent des conglomérats grossiers, entre autres celui des Aiguilles d'Arves.

Cette zone est remarquable par l'état déchiqueté et les bouleversements compliqués des masses qui la composent. Il en résulte des enchevêtrements bizarres au milieu desquels le stratigraphe a beaucoup de peine à se reconnaître, en présence surtout du métamorphisme qui a souvent détruit les fossiles et fait disparaître les caractères primitifs des roches.

849. Première zone alpine. — Dans cette zone, les roches cristallines du terrain primitif constituent pour la plus grande partie plusieurs massifs saillants comme les Alpes bernoises, le Mont Blanc, la chaîne de Belledonne, les Grandes-Rousses, le Pelvoux. Mais leur allure est beaucoup moins régulière que dans la quatrième zone et il est très difficile de reconnaître la succession normale des divers éléments de la série classique, ce qui tient à ce que la première zone est réelle-

ment la partie ancienne du système orographique des Alpes et que sa structure résulte de dislocations de différentes époques. Ce sont des protogines, des gneiss, des micaschistes, des chloritoschistes, plissés et redressés souvent dans une position voisine de la verticale, ou découpés en feuillets verticaux qui, en se désagrégeant, ont produit les contours déchiquetés des Aiguilles.

Dans les plis de ces schistes sont enchâssés des lambeaux peu épais de grès à anthracite, qui ont subi les mêmes dislocacations qu'eux et qui, d'après leur flore fossile, paraissent appartenir au terrain houiller. Dans le canton de la Mure, où sont les exploitations d'anthracite les plus importantes des Alpes, l'épaisseur des grès ne dépasse pas 300 mètres. Il y a aussi quelques îlots houillers discordants sur les schistes primitifs, par exemple le long de la chaîne de Belledonne.

Le trias est mince, incomplet, et fait souvent même défaut. Le terrain jurassique, beaucoup plus développé, consiste en calcaires argileux noirs, massifs ou schisteux, dans lesquels les débris organiques, très peu abondants, ont été rendus le plus souvent indéterminables par des actions métamorphiques. Ces calcaires, en discordance manifeste avec les schistes primitifs sur les tranches desquels on les voit reposer en quelques points (Aiguilles Rouges, Saint-Christophe-en-Oisans), se trouvent presque toujours en lambeaux plus ou moins étendus enclavés dans ces schistes. Par suite des mouvements de glissement auxquels ils ont été soumis, ils ont été quelquefois appliqués sur les roches primitives, ce qui a fait croire qu'il y avait concordance de stratification, ou même recouverts en surplomb par ces roches.

Le caractère stratigraphique de la première zone est d'être plissée en grand. Les massifs primitifs qui s'y rencontrent ne sont pour la plupart que des portions de grands plis crevés, dont on peut reconstituer la régularité en faisant abstraction des failles qui les ont disloqués. Le massif de Belledonne et celui des Grandes-Rousses dans l'Oisans constituent les deux versants opposés d'un même pli. Le Mont Blanc, remarquable par la structure en éventail des talcschistes avec amas subordonnés de protogine qui le composent, représente le flanc orien-

tal d'un pli gigantesque dont le flanc occidental est caché sous une couverture de terrains secondaires et à la partie médiane duquel appartient le Brévent ; ses couches, plongeant au sud-est, ont pu d'autre part être redressées au voisinage de la grande faille ancienne qui le limite de ce côté, et la structure en éventail serait le résultat d'un repli des talcschistes sous la forme d'un V très aigu (n° 176). Quant au Pelvoux, il figure dans son ensemble une grande voûte rompue.

850. Soulèvement des Alpes. — Nous avons vu qu'on n'a constaté nulle part dans les Alpes de couches appartenant aux périodes cambrienne, silurienne et dévonienne. On doit en conclure que, pendant ces trois périodes, elles se réduisaient à un noyau cristallin qui se rattachait peut-être au Plateau Central. Au début de l'époque houillère, les quatre zones entre lesquelles se divise le massif étaient déjà aussi distinctes qu'aujourd'hui, car la grande ancienneté des failles qui les séparent est démontrée, suivant M. Lory, par l'extension des divers terrains dont elles se composent, aussi bien que par leurs variations de puissance et de faciès.

Un affaissement progressif détermine dès ce moment l'immersion d'une partie du massif et le grès houiller vient reposer, à peu près en concordance de stratification, sur les schistes cristallins. C'est alors, vers l'époque permienne, que se produit un refoulement énergique qui écrase les couches contre les gradins formés par les failles et jouant le rôle de heurtoirs, les plisse et les renverse, avec accompagnement d'effondrements et d'effets de laminage.

L'affaissement continuant à se manifester, soit d'une manière lente, soit par saccades, des bassins intérieurs s'isolent et se remplissent irrégulièrement de trias. Puis, à la suite d'un mouvement d'oscillation, se déposent, surtout sur le littoral, des roches jurassiques et crétacées, auxquelles succèdent des couches nummulitiques. De nouvelles actions latérales s'exercent sur ces couches, la masse émergée augmente et les Alpes prennent bientôt l'aspect d'un vaste continent, dont les débris, arrachés par de puissantes érosions, ne tardent pas à former à leur pied les assises de la mollasse. Enfin un dernier effort de

dislocation, le plus énergique de tous, refoule violemment la mollasse à la fin du miocène et la redresse sur les flancs des premières chaînes.

Les sédiments pliocènes qui viennent ensuite s'étendre à la base du massif alpin accusent une discordance de stratification très nette dans la vallée du Rhône. Dans la région des Alpes maritimes, des poudingues du même âge se trouvent en couches inclinées, non par l'effet d'un redressement ultérieur comme on pourrait le croire, mais parce qu'ils se sont déposés à la manière de deltas torrentiels, témoignant ainsi de la violence des cours d'eau qui venaient se déverser dans la mer pliocène.

851. Formation du relief du continent européen. — Les Alpes sont le produit de la dernière des grandes convulsions qui ont secoué la croûte terrestre. Si nous jetons maintenant un regard en arrière, nous pourrons peut-être nous faire une idée d'ensemble de la succession des principaux efforts orogéniques qui ont constitué l'ossature de l'Europe.

On se rappelle qu'à la fin de la période silurienne il y avait un vaste continent autour du pôle nord (n° 592) ; la mer couvrait alors la plus grande partie de l'Europe, ne laissant émerger çà et là que quelques îles comme les Vosges, l'Armorique, le Plateau Central, les premiers noyaux cristallins des Maures et des Alpes, etc.

En avant de ce continent se forme dans la mer une grande ride à laquelle on peut donner avec M. Suess le nom de *chaîne calédonienne*, peu accentuée aujourd'hui à cause de son ancienneté, et dont on voit les traces dans les Grampians en Ecosse par le renversement du gneiss sur le silurien. Au pied de cette chaîne, au sud-est, le vieux grès rouge s'étend en couches peu inclinées, ce qui ferait remonter ce premier effort de plissement à la fin de la période silurienne. Le bord de la Norvège, dont la structure est si semblable à celle de l'Ecosse, paraît indiquer un autre débris de la même chaîne.

Une seconde ride se dessine vers le milieu de l'époque houillère. Elle subsiste encore à l'état de fragments ; c'est la *chaîne hercynienne*, dont les lambeaux peuvent se suivre de la Bo-

hême aux Ardennes et jusque dans le Cornouailles et représentent, comme l'a dit d'Omalius d'Halloy, les restes revenus au jour d'une vieille Europe des temps primaires.

Enfin les Pyrénées, puis bientôt les Alpes, se soulèvent à leur tour et constituent l'épisode final de l'histoire orographique du continent européen. Si ces dernières montagnes présentent une courbure si prononcée, cela tient à ce qu'elles se sont formées dans une enceinte continue de massifs anciens, du Plateau Central à la Bohême, dont elles ont épousé le contour.

Ces trois grandes rides, chaîne calédonienne, chaîne hercynienne, chaîne des Alpes, ont un caractère commun, c'est qu'elles sont toutes renversées sur leur bord septentrional, comme si l'effort, venant toujours du sud, avait refoulé la masse soulevée sur le continent le plus ancien.

CHAPITRE XXII

PÉRIODE PLIOCÈNE

§ I. Caractères de la période pliocène. — § II. Types de pliocène. — § III. Terrains volcaniques.

§ I.

CARACTÈRES DE LA PÉRIODE PLIOCÈNE.

852. Conditions physiques. — La période pliocène, qui commence après le dernier soulèvement des Alpes, est comme le vestibule de l'ère actuelle. La Méditerranée, très réduite à la fin du miocène, fait une nouvelle invasion dans les vallées, notamment dans celle du Rhône où elle s'avance jusqu'à Lyon ; puis elle se retire définitivement, ainsi que les autres mers, de telle sorte que vers la fin de la période les continents prennent des contours qui coïncident à peu près exactement avec ceux qu'ils possèdent aujourd'hui.

C'est au commencement de la période pliocène que l'isthme de Panama se trouve mis à sec, un peu plus tard que le détroit de Gibraltar se forme, et tout à la fin, si ce n'est même dans la période diluvienne, que l'Angleterre est séparée de la France.

L'extension des continents est accompagnée de phénomènes torrentiels qui président au creusement des vallées, et c'est ainsi que se prépare notre régime fluvial, dont l'établissement définitif sera un des traits les plus saillants de la période suivante.

Les manifestations volcaniques, si actives dans le miocène, continuent à se produire, pour ainsi dire sans interruption, dans toute l'étendue du pliocène et se prolongent jusque dans l'ère quaternaire.

Dans la première partie de la période pliocène, l'Europe possède encore un climat doux, dû à la prépondérance de l'élément marin, et l'on voit dans nos régions des palmiers et autres plantes du midi mêlés aux espèces septentrionales. Avec le retrait de la mer, la température s'abaisse peu à peu et la flore s'appauvrit en perdant ses espèces méridionales.

853. Faune et flore pliocènes. — Les proboscidiens jouent encore un rôle important. A la vérité le *Dinotherium* s'éteint avec le miocène et le mastodonte émigre d'Europe en Amérique avant la fin de la période ; mais ces animaux sont remplacés par de grands éléphants et notamment l'*Elephas meridionalis*, l'un des êtres les plus gigantesques que la terre ait nourris.

D'innombrables troupeaux de ruminants (antilopes, cerfs, bœufs) paissent les opulents herbages qui se développent autour des lacs. Des rhinocéros à larges narines et des hippopotames peuplent les rivières. Les singes quittent l'Europe et se retirent en Afrique. L'hipparion disparaît au milieu de la période et le cheval le remplace.

Ce dernier animal est d'un grand intérêt par les arguments qu'il a fournis en faveur de la théorie de l'évolution. Depuis le commencement de l'ère tertiaire, le groupe des *Equidés*, auquel il appartient, a été représenté en Amérique par une série de formes dont la plus ancienne (*Eohippus*) est celle qui s'éloigne le moins du type général de structure des mammifères supérieurs, tandis que la plus récente (*Equus*) est celle qui diffère la plus de ce type. Or l'*Eohippus* possédait quatre doigts complets aux pieds de devant et trois aux pieds de derrière, un cubitus et un péroné respectivement distincts du radius et du tibia, 44 dents dont les canines étaient toutes présentes. L'*Equus* n'a plus qu'un doigt complet à chaque pied, les autres rudimentaires ; le cubitus et le péroné sont très réduits et soudés au radius et au tibia ; ses canines ont disparu plus ou

moins complètement. Les équidés des époques intermédiaires présentent des caractères de transition. Pour interpréter ces faits, il est rationnel d'admettre que ces formes successives de chevaux sont le résultat de modifications survenues dans une lignée continue d'ancêtres, modifications qui sont dues à un excès de développement, à l'atrophie ou à la soudure de certaines parties du squelette.

Les cétacés abondaient dans les mers septentrionales. Les reptiles avaient depuis longtemps perdu leur ancienne prépondérance.

Les mollusques marins du pliocène diffèrent à peine de ceux de nos mers, et souvent on ne peut les en séparer spécifiquement. Par suite de l'extension des continents, les mollusques terrestres, tels que les hélices et les cyclostomes, prennent de plus en plus d'importance.

La flore est encore riche, moins cependant que dans le miocène à cause de l'abaissement de la température. Son caractère dominant dans nos pays est l'abondance de la famille des amentacées et notamment des aulnes, des chênes, des saules, des hêtres, des bouleaux. Les conifères forment toujours des forêts, mais ils n'ont plus autant de variété. Des palmiers qui précédemment habitaient la France, il ne reste qu'une espèce, le *Chamærops humilis*, qui parvient à se maintenir aux environs de Marseille jusqu'à la fin de la période et qui vit actuellement dans le sud de l'Espagne. Les sequoias et les bambous disparaissent d'Europe. Ainsi les différences climatériques entre le nord et le midi de notre continent sont nettement marquées.

854. Etage subapennin. — Le système pliocène ne forme qu'un étage, auquel Alcide d'Orbigny a donné le nom de *subapennin* parce qu'il constitue les collines subapennines de la province d'Asti en Piémont. Citons parmi les principaux fossiles : *Voluta Lamberti* (fig. 521), variété allongée de l'espèce déjà signalée dans les faluns de la Touraine (fig. 510) ; *Fusus contrarius* (fig. 522), qui s'enroule de gauche à droite, tandis que le sens ordinaire est de droite à gauche ; *Cyprina islandica* (fig. 523), espèce encore vivante dans les mers septentrionales ; *Lingula Dumortieri* (fig. 524), coquille ovale striée concentriquement.

Fig. 521.
Voluta Lamberti.

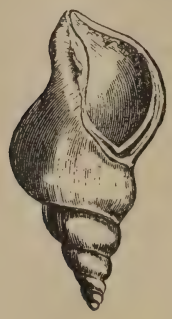


Fig. 522.
Fusus contrarius.

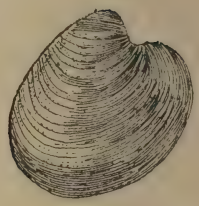


Fig. 523.
Cyprina islandica.

Fig. 524.
Lingula Dumortieri.

§ II.

TYPES DU SYSTÈME PLIOCÈNE.

855. Pliocène d'Italie. — L'Italie est le pays classique du pliocène. Les dépôts de ce système, après avoir comblé en Piémont le bassin d'Asti, ont formé à la base de la chaîne des Apennins, tant du côté de l'Adriatique que du côté de la Méditerranée, une série de collines où d'Orbigny a pris le type de son étage subapennin et qui ne sont qu'une partie d'une ceinture entourant cette dernière mer. On les retrouve en effet en France dans les Alpes maritimes, près de Montpellier et de Perpignan, tout le long de la côte d'Espagne, en Algérie au pied de l'Atlas, sur le pourtour des îles méditerranéennes comme la Sardaigne, la Sicile et Malte, en Grèce, etc.

La mer Caspienne et la mer d'Aral sont aussi bordées de vastes dépôts pliocènes, qui montrent que ces mers ne sont que le résidu d'un bassin plus étendu et réduit à la suite d'un mouvement d'émersion.

Le subapennin italien se compose de deux assises : l'inférieure, formée surtout par une marne bleuâtre, tandis que l'autre consiste en un sable argileux. Ces assises, et principalement la dernière, contiennent souvent des coquilles très bien conservées, dans lesquelles Brocchi a reconnu beaucoup d'espèces identiques à celles qui vivent actuellement dans la Méditerranée. Un petit nombre d'entre elles font même partie de genres habitant des climats plus chauds.

Les marnes de la base renferment fréquemment des couches subordonnées de lignite avec une flore très riche, qui s'éloigne passablement de la végétation actuelle de l'Europe et indique une température plus élevée. Tel est le *Liquidambar europæum*, très rapproché du *L. styracifluum* qui croît sur les bords du golfe du Mexique.

Le subapennin a été influencé par les actions souterraines, car c'est dans sa masse qu'on exploite aux environs de Volterra en Toscane l'albâtre gypseux si connu par les ouvrages d'art qui nous arrivent de ce pays.

Dans le val d'Arno, on trouve au milieu des marnes des ossements de mastodonte, et dans les sables qui les surmontent des ossements d'*Elephas meridionalis*, *Rhinoceros leptorhinus*, *Hippopotamus major*, *Equus Stenonis*, etc. A Casino il y a aussi un très beau gisement de mammifères.

En Sicile, les assises du pliocène recouvrent la moitié de l'île et s'élèvent à une hauteur de 900 mètres. La partie supérieure du système consiste, sur quelques points, en une pierre blanc jaunâtre ressemblant au calcaire grossier parisien et recouvrant une marne bleue, analogue à celle des Apennins, qui alterne avec des sables. Ailleurs c'est une roche presque aussi compacte que le marbre et dont l'épaisseur varie quelquefois de 200 à 250 mètres. Au sud de la plaine de Catane, les couches pliocènes sont entremêlées de matières volcaniques produites pour la plupart par des éruptions sous-marines. A Licata, on observe une couche de tripoli avec poissons d'eau douce.

Rome est bâtie sur le pliocène, dans lequel on reconnaît les deux assises de la Toscane : d'abord des marnes, puis des sables passant à des graviers et à des conglomérats à *Elephas meri-*

dionalis. Ce sont ces graviers qui couronnent le Vatican et le Janicule ; au Monte-Mario ils sont recouverts par un tuf volcanique.

856. Sables de Saint-Prest. — Le système pliocène n'existe qu'à l'état de traces dans toute la région septentrionale de la France. L'un des points où on peut le mieux l'observer se trouve à Saint-Prest, près de Chartres, où il consiste en sables et graviers, d'une quinzaine de mètres d'épaisseur, reposant directement sur la craie et recouverts par le lœss. Ce dépôt, situé à 25 mètres au-dessus des alluvions de l'Eure, remplit une dépression latérale à la rivière, qui devait déjà exister avant l'approfondissement de la vallée ; c'est bien un terrain de transport, d'aspect fluviatile, et on y a trouvé divers débris de mammifères, notamment *Elephas meridionalis*, *Hippopotamus major*, etc.

857. Crag de l'Angleterre. — Le système pliocène est représenté en Angleterre par des masses de sable coquillier qui sont employées de temps immémorial par l'agriculture, sous le nom de *crag*, pour fertiliser les sols pauvres en carbonate de chaux. Elles renferment souvent une proportion notable de phosphate de chaux, grâce aux ossements fossiles qui leurs sont mêlés, comme dans les faluns de la Touraine. Ces sables sont surtout développés dans les comtés de Norfolk, de Suffolk et d'Essex. Dans le Suffolk, on les divise en deux assises : le *crag corallin* à la base, et le *crag rouge* au-dessus.

Le premier, d'étendue très limitée et de 10 mètres environ de puissance, consiste en marnes calcaires avec coquilles et bryozoaires (autrefois qualifiés de corallines) ; on n'y observe que des formes appartenant aux climats tempérés. Le crag rouge, épais de 8 mètres en moyenne, déborde le précédent et repose souvent directement sur la craie ou l'argile de Londres ; il est formé de sables quartzeux ferrugineux, avec un grand nombre d'espèces de mollusques dont les trois quarts sont des espèces encore vivantes.

Après le crag rouge vient le *crag de Norwich*, formation fluvio-marine de 7 mètres environ de puissance, constituée par

des sables, des limons et des graviers, avec un mélange d'espèces marines et d'espèces terrestres ou d'eau douce. On y trouve notamment des débris de mammifères, tels que le mastodonte, et de poissons; ce qui indique que ces sables se sont déposés au voisinage de l'embouchure d'un fleuve.

On n'observe qu'en un seul point la superposition du crag de Norwich au crag rouge. Mais il n'est pas nécessaire d'invoquer cette superposition pour déterminer l'âge du premier, qui est incontestablement plus moderne que l'autre, puisqu'il renferme une plus grande proportion de mollusques encore vivants.

Enfin la série se termine par les *lits de Chillesford et d'Aldeby*, sables et argiles épais de 7 mètres, contenant une faune de mollusques dont 9 0/0 seulement des espèces sont éteintes, tandis que les autres vivent actuellement dans des pays plus froids.

L'étude du pliocène anglais est, comme on le voit, des plus intéressantes; elle fait ressortir d'une manière frappante l'accroissement continu du nombre des mollusques encore vivants aujourd'hui, et elle montre en outre qu'il y a eu une diminution graduelle de la température, qui est même descendue plus bas qu'elle ne l'est actuellement pour se rapprocher de celle du Groenland. Beaucoup de mollusques qui habitaient la mer anglaise pendant la période pliocène s'en sont ainsi peu à peu éloignés pour marcher vers le sud; puis, lorsque dans l'ère quaternaire un climat plus doux a succédé à celui de l'époque glaciaire, ils sont revenus à leur point de départ.

858. Sables d'Anvers. — Il existe à l'embouchure de l'Escaut et dans les environs d'Anvers des sables du même âge que le crag corallin et le crag rouge qui leur font face sur les côtes de Suffolk et de Norfolk. On peut y établir trois divisions : 1° à la base le *crag noir*, sur lequel est bâtie la ville d'Anvers, d'un gris noirâtre, parfois verdâtre, très glauconifère, caractérisé par un banc de pectoncles de 60 à 80 centimètres d'épaisseur ; 2° le *crag gris*, sable graveleux avec nombreux galets calcaires perforés ; 3° le *crag jaune*, remarquable par la variété et la richesse de sa faune, qui consiste en sables plus ou moins glauconifères, ordinairement peu argileux.

Outre les coquilles marines, souvent brisées et indéterminables, les sables d'Anvers renferment une immense quantité de dents de squales, de vertèbres, de côtes et autres débris de squelettes de baleines de différents genres et de plusieurs espèces de phoques. Ce sont principalement les travaux des nouvelles fortifications de cette ville qui les ont mis à jour et qui ont montré qu'on se trouvait là en présence d'un immense ossuaire marin. Plus de 30.000 dents de squales sont réunies au musée de Bruxelles ; les plus grandes ont jusqu'à 15 centimètres et appartiennent au *Carcharodon megalodon*, dont les mâchoires, entièrement ouvertes, ne devaient pas mesurer moins de $4^{m},60$ de circonférence. Les ossements de cétacés recueillis et entassés dans les caves du même établissement occupent un volume de 200 mètres cubes, d'après M. van Beneden qui en a entrepris la description.

A cette époque, l'Angleterre était encore unie au continent et, pendant une longue durée, les canaux et les vents dominants poussaient les cadavres flottants de l'Atlantique et de la mer du Nord dans la même direction, ce qui explique une aussi prodigieuse accumulation sur un seul point. La mer du Nord n'était pas alors sans ressemblance avec la baie de Baffin et le détroit de Behring de nos jours, où tous les ans des pêcheurs de différentes nations vont encore tuer des baleines, puis des phoques pour compléter leur chargement.

859. Pliocène du bassin de la Saône. — La grande dépression qui s'étend du nord au sud entre le Plateau Central et le Jura et dans laquelle coule la Saône, puis le Rhône, est occupée presque entièrement, d'Auxonne à Tournon, par des couches de marnes, de sables et de cailloux roulés, dites *alluvions anciennes*. Ces dépôts, dont l'étude n'est d'ailleurs pas facile à faire à cause de l'horizontalité des couches et de la rareté des coupures profondes, appartiennent pour la plus grande partie au pliocène, comme le montrent les fossiles qu'on y a rencontrés.

Dans la Bresse, le pliocène consiste essentiellement en marnes généralement bleues, quelquefois verdâtres ou rougeâtres, alternant avec des sables fins quartzeux, un peu micacés.

Cette constitution est mise en évidence par tous les puits quelque peu profonds ; elle peut s'observer encore dans les vallées importantes, notamment dans celles de l'Ain et du Rhône. Cet ensemble marno-sableux a sur certains points une épaisseur notable, pouvant atteindre et peut-être dépasser cent mètres. Les marnes prédominent et sont caractérisées par l'abondance des paludines.

Au-dessus viennent les sables et graviers avec conglomérats, d'une épaisseur moins considérable, mais d'une extension beaucoup plus grande, car ils recouvrent de vastes superficies, tandis que les marnes à paludines sont localisées dans la cuvette bressane.

Dans quelques localités, notamment à Trévoux et à Montmerle, ces marnes à paludines cessent brusquement et sont remplacées par des sables occupant un espace restreint et constituant ainsi des points singuliers au milieu de la Bresse.

Le monticule à pentes escarpées, de cent mètres d'élévation environ, qui supporte cette première ville, est formé en haut par des cailloutis et du limon au-dessous desquels on observe, jusqu'au niveau de la Saône, des sables souvent gréseux, ayant alors l'aspect mollassique, renfermant de nombreux débris de *Mastodon arvernensis*. Au milieu de ces sables sont quelques lentilles peu étendues d'argile grise ou jaune, qui donnent lieu à de petites sources sur les pentes du coteau. Vers leur partie supérieure, ils renferment des bancs de conglomérat dont les éléments consistent en débris de mollasse et de quartzite alpins, avec quelques cailloux de granite et de porphyre du Beaujolais et de la Bourgogne.

M. Delafond a montré que les dépôts sableux de Trévoux et de Montmerle se rattachent aux sables et graviers supérieurs, et sont complètement indépendants de l'assise marneuse à paludines. Il n'y a pas là un simple accident de sédimentation, comme on le croyait jusqu'alors ; ces deux points faisaient partie d'un amas sableux continu, occupant vraisemblablement, au moins en partie, la vallée actuelle de la Saône et les vallées latérales, creusées une première fois dans les marnes (fig. 525). Ce seraient des ablations ultérieures qui auraient fait disparaître la majeure partie de ces dépôts et n'au-

raient laissé que quelques rares témoins, comme Trévoux et Montmerle.

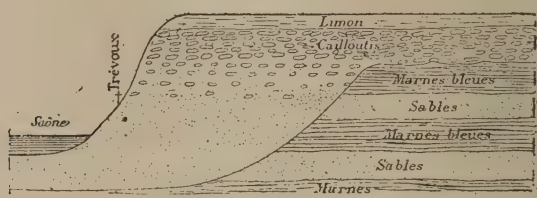


Fig. 525. — Coupe de la vallée de la Saône.

Dans les environs de Châlon-sur-Saône, les sables supérieurs du pliocène sont mélangés d'argiles bariolées, souvent réfractaires, que l'on exploite à Montchanin ; on y trouve aussi des minerais de fer en grains. Dans le département de la Haute-Saône, de véritables bancs calcaires y sont même intercalés et on observe quelquefois au-dessus de puissants amas de galets quartzeux qui paraissent provenir des Vosges.

860. Sables des Landes. — Les Landes de la Gascogne sont situées entre l'Océan, la Garonne et l'Adour. C'est une vaste plaine d'un aspect singulièrement uniforme et monotone, de 8.000 kilomètres carrés de superficie, qui atteint sa plus grande hauteur, environ 175 mètres, vers son extrémité orientale près de Nérac. En se rapprochant de l'Océan, cette plaine s'abaisse par une pente graduelle pour descendre à 20 mètres vers l'extrême ouest, dans la partie qui confine à la chaîne des Dunes. Elle est sillonnée de loin en loin par quelques vallées peu profondes et fortement encaissées, qui n'altèrent point son relief général.

Le sol des Landes est constitué par des sables presque exclusivement siliceux, à grains arrondis ou émoussés, translucides. Ils sont généralement blancs ; quelquefois cependant les grains quartzeux sont colorés et le sable prend alors des teintes variant du blanc au rosé et au jaunâtre.

C'est sur le littoral que les sables sont le plus fins. A mesure qu'on se rapproche de la Garonne, ils deviennent plus grossiers, passent même au gravier et se mélangent d'argile felds-

pathique. Leur épaisseur est très variable ; dans la région orientale, ils n'ont que quelques mètres, mais leur puissance augmente progressivement vers l'est et atteint jusqu'à 50 mètres.

A une faible profondeur au-dessous du sol, les sables sont souvent agglutinés par un ciment organique, de manière à former un grès friable, de coloration brune ou noirâtre, auquel on donne le nom d'*alios* (nº 62). En certains points, ce grès est remplacé par une roche ferrugineuse employée dans les constructions. Ailleurs, ce sont des couches argileuses, qu'on exploite pour la fabrication des briques ou des tuiles et qui, comme les bancs précédents, n'ont pas de continuité.

On trouve aussi dans les sables des Landes des grès siliceux durs servant au pavage, des minerais de fer pisolithiques, qui ont alimenté autrefois de petits hauts-fourneaux, et de rares lignites.

Ces sables sont entièrement privés de fossiles ; aussi il n'est pas possible de déterminer exactement leur âge. On les rapporte généralement au pliocène ; il y aurait tout autant de raisons de les classer dans le diluvien. Quoiqu'il en soit, c'est évidemment un grand courant sorti des Pyrénées qui les a déversés.

L'alios ou les bancs argileux intercalés dans les sables déterminent, en raison de leur imperméabilité, un niveau aquifère superficiel, qui fournit une grande partie de l'eau potable consommée dans les Landes. Cette eau est de très médiocre qualité ; elle retient toujours en dissolution ou en suspension une portion de la matière organique de la couche sur laquelle elle repose ; elle est plus ou moins fortement colorée en jaune brunâtre et a une saveur styptique peu agréable.

Quand l'alios est à une profondeur de 2 ou 3 mètres, le sol peut être cultivé ; ce sont surtout des terres à seigle. Mais partout où il est à une profondeur de $0^m,40$ à $0^m,50$, ce qui arrive dans la plus grande partie des Landes, la contrée devient marécageuse et presque impraticable après les pluies. Il y a une trentaine d'années, toute cette région était inculte et à peu près inhabitée ; c'était une sorte de désert où l'on ne

voyait que des herbages spontanés, de vaines pâtures, des ajoncs et des genêts. On est parvenu à assainir ces terrains en rompant l'alios imperméable par des fossés et procurant un écoulement à l'eau, et actuellement de belles forêts de pins maritimes et de chênes recouvrent de vastes surfaces dans cette contrée autrefois si déshéritée. C'est surtout à M. Chambrelent que l'on doit cette heureuse transformation.

M. Duponchel a proposé d'aller encore plus loin dans la voie de l'amélioration des Landes. Il a émis l'idée hardie de répandre à leur surface une couche d'alluvions artificielles, obtenues par la démolition des collines tertiaires qui rayonnent autour du plateau de Lannemezan. Nous n'examinerons pas ici si cet ingénieux projet, théoriquement réalisable, donnerait des résultats en rapport avec les dépenses qu'il entraînerait.

861. Pliocène de l'isthme de Corinthe. — L'isthme de Corinthe constitue une dépression dont le sommet est à 84 mètres seulement au-dessus du niveau de la mer, et qui est encadrée de part et d'autre par les massifs crétacés de l'Attique et du nord du Péloponèse, dont les assises étaient déjà soulevées et redressées au moment où se sont déposés les terrains qui forment le sol de l'isthme. Ces terrains, d'origine essentiellement marine, se composent de couches horizontales, ou peu inclinées, qui n'ont subi que des mouvements secondaires et des dislocations de faible étendue, bien que nombreuses. Ils appartiennent aux systèmes miocène, pliocène et diluvien ; encore le premier de ces systèmes n'est visible qu'à une certaine distance, si bien que son existence au-dessous du pliocène de l'isthme n'est jusqu'ici qu'une probabilité, exclusivement basée sur des déductions géologiques et orographiques.

Le pliocène commence par des marnes bleues homogènes et peu fossilifères, qui, à l'air sec, paraissent subir un certain durcissement, mais qui se désagrègent avec la plus grande facilité dans l'eau agitée et même dans l'eau calme.

Au-dessus vient une assise de calcaires marneux, légèrement dolomitiques, caractérisée dans sa partie moyenne par l'abondance des polypiers, et passant vers le haut à un conglomérat

formé de sables plus ou moins agglutinés et de galets de quartz noir.

Une dernière assise, qui se distingue de la précédente par un manque absolu de régularité et de persistance dans les caractères lithologiques, se compose de graviers et de conglomérats, avec lits de marnes gréseuses et même de calcaires intercalés lenticulairement. Les graviers et les marnes sont fossilifères ; presque toutes les espèces qu'on y trouve sont identiques à celles qui vivent encore actuellement dans la Méditerranée (*Ostrea edulis*, *Mytilus Gallo-provincialis*, etc.)

L'ensemble de ces couches a été soulevé par des failles d'une netteté extrême, dont les plus importantes forment avec l'axe de l'isthme un angle de 50 à 55 degrés Elles recoupent même les parties les plus élevées de l'assise des graviers et conglomérats, et sont par conséquent postérieures à toute la formation des terrains de l'isthme. On constate en outre qu'il s'est fait, pendant le soulèvement des graviers, un mouvement lent qui a fait émerger les parties centrales de l'isthme, car les deux versants de celui-ci ne sont pas identiques.

Quand on a repris il y a quelques années le percement de l'isthme de Corinthe, qui avait reçu un commencement d'exécution sous Néron, on ne soupçonnait pas la présence des marnes bleues inférieures, parce qu'elles forment un dos d'âne qui des deux côtés disparaît sous la mer et que, d'autre part, les puits creusés par les Romains s'étaient arrêtés dans les calcaires marneux. Ces marnes aggraveront notablement les difficultés et les dépenses du travail. Il en est de même des failles qui, rencontrant le canal sous des angles aigus, découperont le massif entaillé en solides prismatiques ou pyramidaux, dont la partie amincie ne possédera plus les conditions voulues de stabilité.

En somme il faudra donner aux parois de la tranchée un talus plus faible qu'on ne l'avait prévu, ce qui augmentera le cube des déblais, et maçonner toute la partie des marnes bleues qui règne au-dessous du niveau d'eau.

§ III.

TERRAINS VOLCANIQUES.

862. Répartition géographique. — Les roches volcaniques peuvent, comme nous l'avons vu, se rattacher à trois types, les trachytes, les basaltes et les laves, qui ont fait leur apparition dès le début de l'éocène pour continuer leurs éruptions dans le miocène et atteindre leur apogée dans le pliocène. A la fin de cette dernière période, la puissance éruptive est en décroissance et l'ère quaternaire ne voit plus guère se produire que des laves.

Il est peu de contrées en Europe où la série de ces roches soit aussi complète qu'en France. Des trachytes, des basaltes et des laves de diverses variétés recouvrent, sur le Plateau Central, des surfaces considérables et constituent plusieurs régions distinctes marquées par la prédominance de l'un de ces types. Les groupes montagneux du Cantal et du Mont-Dore et la chaîne orientale du Velay, sur la rive droite de la Loire, représentent la formation trachytique. La chaîne occidentale du Velay, les Coyrons, la vallée de l'Allier et le Cézallier sont surtout basaltiques. Quant aux volcans à cratères et aux courants de laves, ils sont presque entièrement concentrés dans la chaîne des Puys en Auvergne.

Toutes ces masses volcaniques, situées dans des positions élevées, ont relativement peu souffert des érosions et l'étude en présente un grand intérêt. Il n'y manque comme complément que des volcans actifs, mais plusieurs cônes à cratères, ainsi que les coulées de lave qui s'étendent à leur pied, sont dans un tel état de conservation qu'on peut reconstituer tous les phénomènes qui leur ont donné naissance, avec une aussi grande précision que pour l'Etna et le Vésuve.

A ces spécimens si complets, on peut ajouter quelques

épanchements éruptifs, de nature principalement basaltique, dans les environs d'Aix, dans l'Esterel, dans l'Aveyron, dans les Vosges, etc.

Hors de France, nous citerons parmi les régions volcaniques les mieux caractérisées : l'Eifel, avec ses dômes de basalte, de trachyte et de phonolite, ses cratères de forme régulière, ses amas de scories, ses courants de lave ; le massif trachytique du Siebengebirge, sur la rive droite du Rhin en face de Bonn, où les cendres volcaniques forment des amas importants ; l'Irlande, les îles Feroë, l'Islande, remarquables par leurs grandes nappes de basalte à magnifiques séparations colonnaires ; la Hongrie et la Transylvanie, où une longue série d'éruptions, consistant surtout en trachytes qui se signalent par leur richesse en émanations métallifères, se déroule depuis le commencement de l'éocène ; le nord de la Bohême, qui présente une grande variété de roches volcaniques ; l'île d'Elbe, dans laquelle des épanchements de liparite granitoïde traversent l'éocène supérieur ; l'Italie, où des éruptions volcaniques, la plupart de date relativement récente, ont couvert de leurs déjections de grandes surfaces dans le Latium, les Champs Phlégréens, la Sicile ; la Catalogne, qui présente aux environs d'Olot des cônes et des cratères aussi bien conservés qu'en Auvergne ; les Montagnes Rocheuses, dont les épanchements éruptifs ont une grande analogie avec ceux de la Hongrie ; la Californie, où dominent les trachytes ; les Andes de l'Amérique du Sud, avec leur remarquable série de roches trachytiques encore peu étudiées ; le Dekkan, dans l'Hindoustan, qui a été le théâtre d'une importante éruption de lave basaltique lors de l'éocène inférieur.

Nous allons examiner maintenant la structure et les relations stratigraphiques des roches volcaniques dans quelques-unes de ces régions, que nous choisirons surtout en France. Pour ne pas morceler cette étude, nous décrirons ici les volcans et les laves modernes, quoique la plupart d'entre eux appartiennent à l'ère quaternaire.

863. Cantal. — Le Cantal, considéré dans son ensemble, est une énorme montagne de forme tronconique, qui s'élève à 900

mètres au-dessus du plateau primitif auquel elle est superposée, et dont le diamètre à la base est d'environ 30 kilomètres. Ce massif est formé principalement de roches se rattachant à la famille des trachytes, avec des coulées de basalte ; tout autour s'étendent encore de grandes nappes basaltiques qui prolongent sa base. Il présente des vallées divergentes et profondes partant toutes du centre, dont les plus importantes sont celles de l'Alagnon, de la Cère et de la Jordanne, et a ainsi un cachet remarquable d'unité orographique et géologique.

Toute la partie centrale de cette vaste gibbosité est évidée par une dépression cratériforme de près de 10 kilomètres de diamètre, sorte de cirque encaissé par des escarpements abrupts, dont les sommités crénelées (le Puy de la Poche, Cabrespin, Chavaroche, le Puy Mary, le Plomb du Cantal, etc.) ont des altitudes variant de 1.500 à 1.871 mètres.

Sur les parois de ce cirque on peut observer la série des roches constituantes, plus ou moins enchevêtrées les unes dans les autres. Ce sont des alternances de domites, de trachytes à sanidine ou trachytes proprement dits, de trachytes à plagioclase ou andésites, de tufs ou cendres agglutinées, de scories, de conglomérats trachytiques. Dans les tufs on trouve quelquefois des débris fossiles de plantes terrestres, ce qui paraît impliquer différentes réapparitions de la végétation pendant les intervalles qui ont séparé les grandes éruptions. Tout cet ensemble est traversé par un nombre prodigieux de filons de trachyte compact ou porphyroïde et par des lits de basalte.

Le tunnel du Lioran, exécuté en 1845 pour faire communiquer les vallées de l'Alagnon et de la Cère, placées en prolongement l'une de l'autre, a rencontré sur une longueur de 1.400 mètres plus de deux cents de ces filons, dont les épaisseurs réunies représentent presque le tiers de l'épaisseur totale des terrains traversés.

Au centre de la dépression surgissent des pics de phonolite (Puys Griou et Griounaux), indépendants des trachytes de l'enceinte, dont les saillies atteignent presque l'altitude des crêtes semi-circulaires et qui se prolongent par une arête longitudinale entre les deux vallées de la Cère et de la Jordanne.

Tous les faits semblent prouver que cette dépression marque

la place où s'élevaient les anciens cratères. Mais le volcan n'a pas été engendré à l'état de ruines sous lequel nous le voyons aujourd'hui. En combinant entre elles les coulées et prolongeant leurs pentes, M. Rames est arrivé à cette conclusion que l'appareil volcanique du Cantal comprenait deux cônes, qui s'élevaient à 2.500 mètres au-dessus du sommet actuel, l'un superposé au Puy Griou, l'autre un peu au nord-ouest du Puy Mary, à 4.200 mètres de là. Les principaux phénomènes éruptifs se sont produits dans cette région centrale, qui a subi postérieurement de fortes dénudations.

D'après M. Fouqué, qui a pu reconstituer la succession des roches éruptives du Cantal, la roche la plus ancienne est un basalte à grain fin, riche en pyroxène et en péridot, qui a apparu vers le milieu de la période miocène. On peut la voir notamment dans la haute vallée de l'Alagnon, où elle forme une coulée de 12 à 15 kilomètres reposant sur le calcaire à *Helix Ramondi*, ainsi qu'au Puy Courny, près d'Aurillac, où elle est recouverte par un gravier à ossements de *Dinotherium*.

A ce basalte ont succédé des épanchements de domite contenant de nombreux fragments de gneiss et de granite, puis des éruptions de trachyte à plagioclase, dont les blocs ont souvent formé des conglomérats, très développés dans la vallée de la Cère.

Un second basalte, distinct du premier par sa texture porphyroïde et ses grands cristaux d'augite et de péridot, s'est répandu au milieu des éruptions trachytiques. Sur le flanc droit de la vallée de la Cère, près de Thiézac, il y a 30 mètres d'épaisseur de ce basalte, intercalé dans les conglomérats trachytiques et les traversant sous forme de filons. Il recouvre parfois des débris de végétaux semblables à ceux des tufs pliocènes d'Auvergne, ce qui fixe son âge.

Après des projections de cendres et de blocs trachytiques, suivies d'une éruption de trachyte à plagioclase qui constitue la plupart des points culminants de la crête centrale, puis d'une émission de phonolite, le basalte s'est épanché une troisième fois en nappes puissantes, sous forme d'une véritable inondation qui a envahi toutes les pentes du Cantal. Dans la haute vallée de la Marse, on en observe jusqu'à six coulées superpo-

sées de 120 mètres de puissance totale ; il se montre aussi au sommet du Plomb du Cantal, point culminant du massif (1871 mètres). C'est le *basalte des plateaux*, qui clôt la série des éruptions de la contrée et qui date de la fin du pliocène.

Cette roche présente souvent la division colonnaire à un haut degré. Les grandes nappes basaltiques qui se dressent en escarpements abrupts autour de la ville de Murat, et le rocher qui la domine (fig. 526), sont des plus remarquables sous ce rapport ; on en retire des prismes de plus de 10 mètres de hauteur, sans traces de joints, qu'on peut utiliser à la manière de poutres.

Fig. 526. — Rocher de Bonnevie, à Murat.

Le basalte des plateaux n'est pas, comme on l'a cru, le résultat d'un épanchement unique provenant d'un cône central. M. Fouqué a signalé des bouches nombreuses avec projections et scories accumulées (Monchanson, Lastic, Suc de Védrines, etc.), qui ne diffèrent pas de ce qui s'observe dans les volcans de l'époque actuelle.

Ce vaste manteau basaltique déborde les roches trachytiques pour reposer directement sur les gneiss et les micaschistes ; il forme à l'ouest le plateau de Salers et de Mauriac, au sud celui de la Planèze. Par suite de son altération superficielle, il donne un sol chargé de chaux, de potasse et d'acide phosphorique, sur lequel poussent de magnifiques prairies qui contrastent avec les landes de bruyères assises sur les affleurements stériles des

schistes primitifs. C'est sur ces pâturages que s'est développée la belle race connue sous le nom de race de Salers, et ce qui prouve d'une manière saisissante l'influence du sol, c'est la dégénérescence qui la frappe, d'après M. Boitel, lorsqu'on la transporte dans la Corrèze.

864. Mont-Dore. — Le massif du Mont-Dore a les plus grandes analogies de forme et de composition avec celui du Cantal. C'est aussi une gibbosité conique, mais plus accentuée, dont la base a seulement 12 kilomètres de diamètre et dont le point culminant, le pic de Sancy, s'élève à une altitude de 1.887 mètres, surplombant d'environ 900 mètres le plateau primitif.

Ce cône se compose de lits minces, consistant pour la plus grande partie en tufs et conglomérats trachytiques, au milieu desquels sont intercalées des coulées de trachytes et de basaltes qui descendent souvent en nappes non interrompues jusqu'à la base, où elles s'étalent circulairement.

Le basalte, moins développé que dans le Cantal, appartient à deux époques. Un basalte inférieur, porphyroïde et divisible en prismes, repose sur les domites et les tufs ponceux qui constituent les plus anciennes roches volcaniques du pays ; on peut le voir à la cascade du Mont-Dore, où il forme une coulée d'une dizaine de mètres d'épaisseur. Le basalte supérieur, riche en péridot, se rattache par l'intermédiaire du Cézallier au basalte des plateaux du Cantal.

La phonolite qui, comme dans le Cantal, a précédé immédiatement ce basalte, constitue les pics de la Roche Tuilière et de la Roche Sanadoire, rochers volumineux qui tranchent par leur aspect avec toutes les aspérités voisines. Leur structure schisteuse est visible de loin ; on la met à profit pour la confection d'ardoises épaisses.

Le pic de Sancy est un dyke de trachyte porphyroïde, à cristaux de sanidine blanche disséminés dans une pâte violacée, au-dessous duquel se trouvent des cendres, puis des tufs trachytiques très épais transformés en alunite par des émanations solfatariennes.

Les éruptions volcaniques se sont prolongées dans le Mont-Dore plus longtemps que dans le Cantal, car on trouve sur ses

flancs un cône de scories meubles, le Puy de Tartaret, de la base duquel est sortie une coulée de lave qui remplit le fond de la vallée de la Couze sur une longueur de 21 kilomètres et qui, en barrant l'ancien lit de la rivière, a donné naissance au lac Chambon. Au-dessous de la lave est une argile rouge sableuse contenant des ossements de cheval avec des coquilles actuelles, ce qui montre que le volcan de Tartaret a fait éruption à une date peu éloignée de nous. Comme pour tous les autres volcans d'Auvergne dont nous parlerons tout à l'heure, cette date est cependant antérieure à l'époque historique, car il existe près de Saint-Nectaire un pont romain du Ve siècle, dont les arches sont posées sur la lave déjà creusée depuis longtemps par la rivière.

Le pittoresque lac Pavin est un cratère profond de 96 mètres, à bords escarpés, ouvert au niveau du sol, mais dont il n'est rien sorti. Il est probablement contemporain du Tartaret.

865. Chaîne des Puys. — Si l'on joint le centre du Cantal à celui du Mont-Dore, la ligne prolongée passe par le Puy de Dôme, montagne de domite en forme de pain de sucre surbaissé, couronnée par un observatoire météorologique, qui atteint l'altitude de 1.468 mètres et domine toute la contrée environnante. Il est permis de penser que ces trois éruptions trachytiques se sont faites suivant une fente traversant le plateau primitif et qu'elles appartiennent à peu près à la même époque. C'est sans doute cette fissure qui s'était déjà ouverte dans la période cambrienne pour donner passage au granite porphyroïde formant le soubassement oriental du Puy de Dôme.

La chaîne des Puys, à laquelle se rattache le Puy de Dôme, comprend encore trois autres monticules domitiques, des nappes de basalte et des coulées de lave moderne avec volcans à cratères.

Ces monticules, le Sarcouy, le Clierzou et le Puy Chopine, sont isolés au milieu des volcans dont ils se distinguent non seulement par leur forme arrondie et sans cratère, mais par leur roche consistante, blanchâtre ou jaunâtre, grenue, poreuse, qui se laisse voir dans toutes les déchirures de leurs flancs gazonnés.

Le Sarcouy a été percé par une galerie pour l'exploitation de la roche comme pierre de construction et on a reconnu que sa masse est homogène, sans vide intérieur, et que les fissures y sont disposées par zones concentriques parallèles à la surface extérieure, ce qui tend à prouver que la domite s'est figée au-dessus de son orifice même d'éruption. Au Clierzou, la domite est imprégnée d'acide chlorhydrique qu'on reconnaît à l'odeur. Ce monticule est creusé de vastes cavités, représentant les vides laissés par les sarcophages monolithiques que les anciens y ont taillés et dont quelques-uns sont restés sur place à l'état d'ébauches plus ou moins avancées.

La domite ne s'est pas seulement accumulée sur place ; elle a aussi coulé en nappes, mais de faible étendue, cachées sous les laves et les déjections plus récentes.

C'est surtout après l'épanchement de la domite que se produisirent les éruptions de basalte. La sortie de cette dernière roche a eu lieu principalement au bas du plateau, vers la plaine de Clermont-Ferrand. On la trouve dans trois positions différentes qui marquent les phases du creusement des vallées : au sommet des collines, sur les pentes des vallées et enfin dans le fond des vallées. Sa nature varie avec son âge ; ainsi les premiers basaltes sont généralement gris jaunâtre, un peu grenus et terreux, avec tendance à la décomposition, à structure massive, tandis que les basaltes plus récents sont au contraire plus durs, peu décomposables, divisibles en prismes, riches en péridot granulaire ou cristallin.

Les basaltes des sommets, antérieurs au creusement des vallées, comme le montre la correspondance exacte de leurs nappes sur les deux versants, remontent à la période miocène ; ils seraient, d'après M. Julien, antérieurs à la domite comme dans le Cantal. Les basaltes des pentes ont parfois des appareils cratériformes bien conservés. Ceux des fonds de vallées se sont produits dans l'ère quaternaire, car ils recouvrent, notamment à Gravenoire, des graviers à ossements de mammouth, animal caractéristique de la période diluvienne.

L'un des points où l'on peut le mieux étudier les roches basaltiques et leurs relations avec les terrains sédimentaires est la colline de Gergovie, sur laquelle s'élevait l'oppidum gau-

lois défendu par Vercingétorix. Cette colline, dont le sommet est à 744 mètres au-dessus du niveau de la mer, est composée de couches miocènes de calcaire à *Helix Ramondi* et de marnes à *Melania aquitanica*, correspondant au calcaire de Beauce (n° 837), dans lesquelles sont intercalés des lits de scories et de tufs et une nappe de basalte de couleur brunâtre, à texture amygdaloïde, avec noyaux de calcaire et de zéolithes. Ce basalte est traversé par un grand filon vertical de la même roche, qui s'épanouit sous forme de tuf au-dessus de sa surface. Enfin la colline est couronnée par une seconde coulée basaltique parfaitement horizontale.

L'âge de ces deux nappes a donné lieu à de grandes discussions entre les géologues. Tandis que les uns considèrent l'inférieure comme la plus ancienne et contemporaine du calcaire à *Helix Ramondi*, les autres, remarquant qu'elle n'est pas exactement interstratifiée dans les sédiments qu'elle coupe sous un angle aigu, la considèrent comme une nappe d'injection de la même époque que le basalte supérieur. Les différences de texture et de composition que présentent ces deux roches et la présence de scories dans le calcaire encaissant sont des arguments contraires à cette dernière manière de voir.

Les émissions de laves et de scories modernes ont suivi les éruptions basaltiques. La formation des premiers cônes volcaniques a dû être déterminée par la position des montagnes domitiques et des fissures qui avaient précédemment affaibli le sol. C'est ainsi que le Puy de Dôme est flanqué du petit Puy de Dôme, volcan à quatre cratères, et que le Sarcouy est entouré de deux cratères ébauchés, le Puy des Goules et le petit Sarcouy (fig. 527).

Les éruptions se sont ensuite propagées sur la ligne nord-sud, tantôt sur un point, tantôt sur un autre, recouvrant d'une soixantaine de cônes de scories et de plusieurs coulées de lave une zone de 40 kilomètres de longueur (fig. 31, tome I).

Le Puy de Louchadière (fig. 528), un des plus grands de la chaîne, a une altitude de 1.200 mètres. Son cratère, de 148 mètres de profondeur, est égueulé sur toute cette hauteur et contient encore l'extrémité de la coulée de lave, ou *cheire*, qui en

est sortie pour descendre jusqu'à la Sioule à une distance de 10 kilomètres.

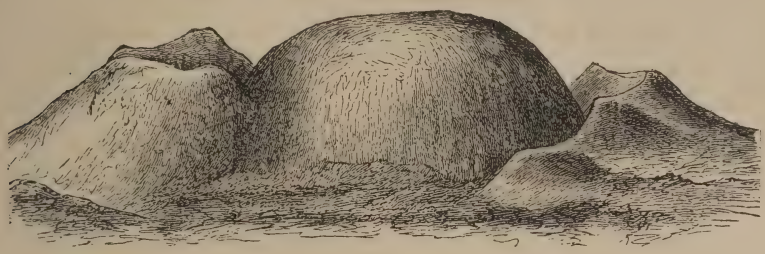


Fig. 527. — Dôme du Sarcouy, entre le volcan des Goules et celui du petit Sarcouy.

Le Puy de Côme, près de Clermont, beaucoup moins imposant, est remarquable par les deux cratères distincts qu'il offre à son sommet. La lave qu'il a produite s'étale en une large nappe de 30 à 50 mètres de saillie, qui occupe une superficie de 2.000 hectares et remplit l'ancien lit de la Sioule sur une longueur de plus de 1.500 mètres. Sa surface, raboteuse, inégale, difficile à parcourir, rebelle à la culture, comme du reste toutes les cheires d'Auvergne, présente des vestiges de positions retranchées attribuées aux Gaulois.

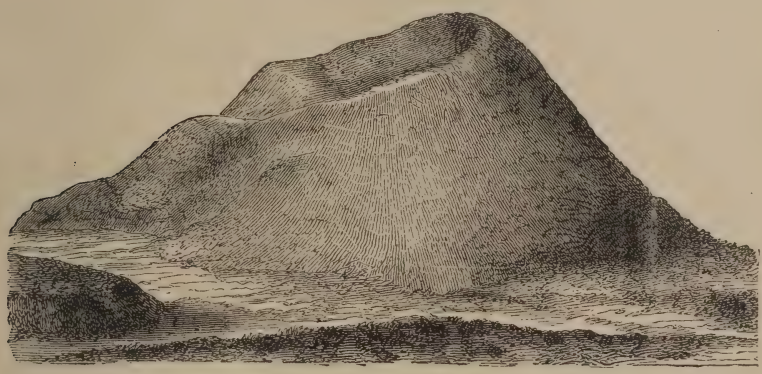


Fig. 528. — Puy de Louchadière.

La lave du Puy Rouge, près du village de Chaluzet, s'est étendue également dans la vallée de la Sioule ; la rivière s'est creusée un ravin à travers cette masse et le gneiss sous-jacent,

sur une profondeur qui dépasse quelquefois 100 mètres (fig. 529). Sur le côté gauche de ce ravin, on voit la lave, scoriacée à sa partie supérieure, devenir de plus en plus colonnaire vers la base et reposer sur un lit de sables et de graviers représentant l'ancien lit de la rivière, à 7 mètres actuellement au-dessus de la Sioule.

Le Puy de Pariou, qui s'élève à 600 mètres au-dessus du plateau, réalise pour ainsi dire le type idéal du volcan. Il a un cratère circulaire d'une régularité géométrique, de 320 mètres de diamètre et 96 mètres de profondeur, dont la crête est si étroite que c'est à peine si l'on peut s'y tenir debout, et qui est contenu dans un cône surbaissé plus vaste, mais moins régulier.

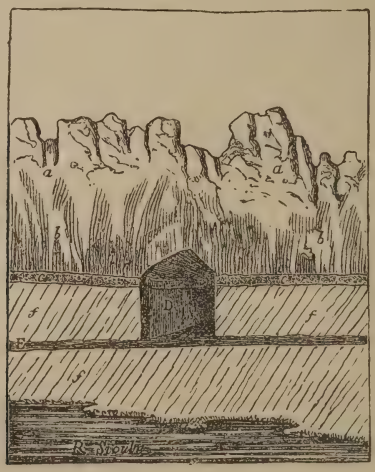


Fig. 529. — Coulée de lave de Chaluzet à son point de terminaison. — *a*, lave scoriacée ; *b*, lave colonnaire ; *c*, gravier ; *f*, gneiss ; D, ancienne galerie de mine ; E, sentier. (Lyell).

Les laves de la chaîne des Puys peuvent se rapporter à deux types : les unes sont basaltiques, comme celles que nous venons de décrire et qui se déversent vers la Sioule ; les autres sont des laves trachytiques à amphibole. C'est à ce dernier type qu'appartient la roche exploitée dans les grandes carrières de Volvic (n° 459).

866. Isthme de Panama. — L'ossature générale de l'isthme de Panama, où l'on exécute les grands travaux du canal interocéanique, se compose de roches volcaniques intactes ou remaniées. Sur l'emplacement actuel de cette étroite langue de terre, se trouvait autrefois un détroit qui a été comblé par des coulées sous-marines, entre lesquelles se sont formés des tufs de nature diverse avec les éléments de la roche sous-jacente. Cet ensemble, soulevé probablement au début de la période pliocène, a pris le relief que nous lui voyons aujourd'hui sous l'action de puissantes érosions.

D'après M. Boutan, à qui nous empruntons ces détails sur la géologie de l'isthme de Panama, les roches volcaniques de la région appartiennent à un petit nombre de types dont les principaux sont :

1° Une roche amphibolique compacte vert foncé, à texture grenue, à éclat résineux, renfermant des cristaux d'augite mais pas de péridot, rappelant beaucoup par son aspect certains basaltes d'Auvergne. Quelques-uns de ses caractères la rapprochent cependant des trachytes, en sorte qu'on pourrait lui donner le nom de *trachydolérite*.

2° Une roche claire, un peu vitreuse, criblée de petits cristaux de sanidine, de hornblende et quelquefois de mica noir, que l'on pourrait appeler, par opposition à la précédente, une *trachysyénite*, et dont quelques échantillons, plus cristallins et plus quartzeux que les autres, ressemblent aux trachytes de Hongrie. Cette roche paraît être plus ancienne que la précédente.

On croyait à l'origine que ces roches cristallines et leurs dérivées (conglomérats à pâte dure et cristalline) étaient très répandus dans l'isthme et qu'elles formaient à peu près le squelette de la Cordillère centrale. Mais il semble résulter des sondages entrepris par la Compagnie de Panama qu'elles sont loin d'avoir autant d'importance, et qu'en plusieurs endroits elles sont remplacées par des roches remaniées qui consistent soit en poudingues à éléments de toutes grosseurs, depuis les plus gros qui atteignent le volume d'énormes boulets jusqu'à ceux qui sont constitués par de simples graviers, soit en tufs compacts et en boues de la plus grande finesse. Bien que ces di-

vers échantillons de l'activité des érosions qui se sont produites en dernier lieu s'échelonnent assez bien par ordre de grosseur, depuis l'axe de l'isthme jusqu'aux deux océans, on constate quelques exceptions à ce mode d'arrangement, et l'on trouve notamment en pleine Cordillère des tufs et des argiles fines, formés comme toujours par les débris des roches cristallines plus anciennes. Ces tufs et argiles, plus favorables aujourd'hui pour l'exécution du canal en raison de leur faible consistance, le seront probablement moins plus tard au point de vue de la tenue des tranchées.

En outre de cette série éminemment éruptive d'origine, il faut signaler quelques calcaires sporadiques, dont l'origine n'est pas bien claire, et quelques lits de faible épaisseur, plus ou moins charbonneux ou bitumineux, interstratifiés dans les argiles du centre. On ne rencontre pas de granite dans un rayon assez étendu.

CHAPITRE XXIII

ÈRE QUATERNAIRE

§ I. Période diluvienne. — § II. Période actuelle. — § III. Types de terrains quaternaires. — § IV. Homme préhistorique.

867. Division en deux périodes. — L'ère quaternaire est celle dans laquelle l'homme a fait son apparition à la surface du globe, événement considérable qui suffit à lui imprimer son cachet d'individualité. Mais, au contraire de ce qui s'est passé dans les ères précédentes, ni sa faune ni sa flore n'ont subi de variations importantes ; aucune forme nouvelle n'a été créée et les modifications du monde organique se sont réduites à l'extinction d'un certain nombre d'espèces et à des changements dans la distribution géographique de quelques autres par voie de migration.

Si l'on devait se baser sur les transformations de la faune, comme nous l'avons fait jusqu'à présent, pour établir la distinction des assises, il semble donc qu'il faudrait renoncer à introduire des divisions dans le groupe quaternaire.

Il n'en est pas de même quand on envisage les conditions physiques. La première partie de l'ère a été marquée en effet par de grandes perturbations climatériques ; il s'est produit d'abondantes chutes de pluie ou de neige qui ont eu pour conséquence une énorme extension du volume des cours d'eau et des glaciers. Puis peu à peu les rivières ont réduit leur lit, les glaciers se sont retirés sur les sommets et l'état de choses actuel s'est établi.

On peut ainsi distinguer deux périodes dans l'ère quaternaire : la première, ou *période diluvienne*, qui se signale par

l'abondance de la pluie ; la seconde, ou *période actuelle*, dans laquelle s'inaugure la tranquillité relative qui est le partage du monde dans lequel nous vivons.

§ I.

PÉRIODE DILUVIENNE.

868. Conditions physiques. — Par suite de l'extension considérable des cours d'eau et des glaciers, les effets d'érosion et d'alluvionnement ont atteint dans la période diluvienne une bien plus grande intensité que de nos jours. Il s'est formé des dépôts souvent très épais, mais qui ont pour caractère d'être juxtaposés plutôt que superposés, en sorte que la succession en est parfois très obscure. Ces dépôts consistent surtout en *graviers d'alluvion*, et en *limons* parmi lesquels on distingue le *lœss* et le *limon rouge*.

Les autres agents, d'origine interne ou externe, qui travaillent au modelage de notre globe, ne développaient pas alors moins d'énergie que les précipitations atmosphériques. L'activité des infiltrations, largement alimentées par des pluies torrentielles, se révèle dans l'élargissement des fissures de l'écorce et la formation des cavernes, aussi bien que dans les dépôts tufacés qui venaient recouvrir les flancs des vallées et qui sont quelquefois assez solides pour être employés dans les constructions. Les volcans modernes, installés dès la période pliocène, continuaient à couvrir de leurs déjections de vastes surfaces ; toutefois ces éruptions n'étaient plus accompagnées d'émanations métallifères et il ne se produisait plus, en fait de matières métalliques, que des dépôts de transport, par voie de destruction de filons ; ce sont des gîtes superficiels, comme les placers, qui se retrouvent dans des plaines, sur des plateaux élevés ou au fond des vallées. Le sol subissait encore de grandes oscillations dont les traces sont surtout visibles dans les *plages soulevées*.

Nous allons passer en revue les principaux de ces phénomènes et les dépôts auxquels ils ont donné naissance, après avoir d'abord jeté un coup d'œil sur la faune diluvienne.

869. Faune diluvienne. — Pendant toute la durée de la période diluvienne, les variations du régime atmosphérique, quoique notables, n'ont pas été assez grandes pour se faire sentir sur les eaux de la mer, si ce n'est tout à fait superficiellement. Aussi la faune marine est-elle restée à peu près la même ; il n'y a guère eu que quelques migrations de mollusques littoraux, qui se sont retirés tantôt vers le nord, tantôt vers le sud, suivant que la température s'élevait ou s'abaissait. Ainsi en Scandinavie, dans des dépôts côtiers portés actuellement à une grande hauteur, on a signalé des coquilles qui ne vivent plus aujourd'hui que dans les mers arctiques.

Les animaux terrestres au contraire se sont montrés beaucoup plus sensibles aux changements qui survenaient dans le climat. Certains d'entre eux ont disparu ; d'autres ont quitté nos régions pour se porter, suivant leur instinct, vers des pays plus froids ou plus doux, où ils existent encore. Les premiers sont des *espèces éteintes ;* les seconds des *espèces émigrées.*

Espèces éteintes d'Europe. — Pour les espèces éteintes, qui sont d'ailleurs peu nombreuses, il y a une distinction à faire entre l'Europe, l'Amérique et l'Australie. En Europe, les animaux de ce genre les plus répandus sont l'*Elephas primigenius*, le *Rhinoceros tichorhinus*, l'*Ursus spelæus* et le *Cervus megaceros.*

L'*Elephas primigenius*, ou *mammouth* (fig. 530), était plus voisin de l'éléphant d'Asie que de celui d'Afrique. Il s'en séparait par sa taille qui atteignait 5 à 6 mètres, par la courbure en demi-cercle de ses monstrueuses défenses, par son corps couvert de longs poils roux et par la crinière qui flottait sur son cou et le long de son épine dorsale. Ses dents, que l'on trouve en abondance dans presque toutes les contrées, se distinguent de celles de son congénère fossile, le mastodonte, en

ce qu'elles présentent une large surface unie, parcourue de sillons réguliers à large courbure, au lieu d'être surmontées de tubérosités en forme de mamelons.

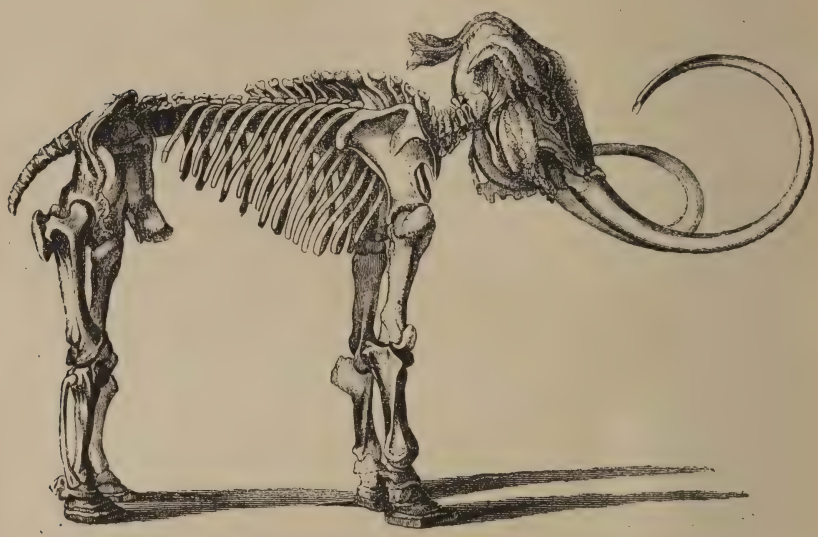


Fig. 530. — *Elephas primigenius.*

Le *Rhinoceros tichorhinus*, ou rhinocéros à narines cloisonnées, était caractérisé par une particularité anatomique qui n'existe pas chez le rhinocéros actuel. Ses deux narines étaient presque séparées par une cloison osseuse ; il portait de plus deux cornes sur le nez, comme le rhinocéros bicorne d'Afrique ; sa peau, toute couverte de poils, était dépourvue des rides et des callosités que présente la peau de ce dernier.

L'*Ursus spelæus*, ou ours des cavernes, était un des carnivores quaternaires les plus redoutables. Il était d'un quart plus grand que l'ours brun ; on en possède des squelettes longs de 3 mètres et hauts de 2 mètres. Sa tête, très forte, avait le front bombé. Ce sont ses ossements qui servaient en Allemagne à la préparation du médicament connu sous le nom de *licorne fossile* et auquel on attribuait des propriétés merveilleuses.

Le *Cervus megaceros* (fig. 531) tenait de l'élan par ses proportions générales et la forme de son crâne, mais il se rapprochait du cerf par sa taille et la disposition de ses bois, dont la longueur était d'au moins 3 mètres et l'écartement, au sommet, de 3 à 4 mètres. Les squelettes de cet animal se trouvent surtout en Irlande, dans les dépôts et tufs calcaires qui s'étendent sous les tourbières près de Curragh.

Fig. 531. — *Cervus megaceros.*

Aux mammifères que nous venons d'énumérer, on peut ajouter les suivants, dont les débris se rencontrent plus rarement : l'*Elephas antiquus*, qui a précédé le mammouth et le relie à l'*E. meridionalis* du pliocène ; le *Rhinoceros Mercki*, de plus petite taille que le *R. tichorhinus ;* le *Felis spelæa*, qui avait une taille double de celle du tigre actuel ; l'*Hyæna spelæa*, un peu plus grande que celle qui vit de nos jours ; l'*Hippopotamus major*, qui vivait déjà dans la période pliocène.

Espèces émigrées. — Le renne, l'élan, le glouton, le lemming ou lapin de Norvège, la chouette Harfang, l'*Ursus ferox*, ont quitté notre pays vers la fin de la période diluvienne. Le dernier ne se trouve plus que dans les Montagnes Rocheuses ; les autres sont relégués dans les régions septentrionales de l'Europe.

Lorsque ces animaux émigrèrent, le mammouth, le rhinocéros à narines cloisonnées et l'ours des cavernes n'existaient plus. On peut distinguer par conséquent dans la période diluvienne deux divisions : la première, qui prend fin à peu près avec l'extinction du mammouth ; la seconde avec l'émigration du renne. L'*Elephas antiquus* ayant disparu avant le mammouth, on a subdivisé à son tour la première division en deux, de telle sorte que l'on a en définitive établi trois âges, basés sur la prédominance d'une espèce, et passant insensiblement de l'un à l'autre :

1. Age de l'*Elephas antiquus.*
2. Age du mammouth.
3. Age du renne.

Cette classification, due à Lartet, ne s'applique toutefois qu'à l'Europe occidentale.

Faune américaine. — Dans la période diluvienne, il y avait déjà, entre la faune de l'Amérique et celle de l'Europe, des différences aussi tranchées que celles que nous observons actuellement. A côté des animaux qui y vivent encore, il s'y trouvait des chevaux qui, depuis la période actuelle, sont devenus propres à l'ancien continent, plusieurs espèces d'éléphants, des mastodontes, inconnus dans l'Europe quaternaire.

Ce qui est surtout la note dominante de cette faune, ce sont divers genres d'édentés de grande taille, actuellement disparus, tels que le *Megatherium*, le *Megalodon*, le *Megalonyx*, le *Glyptodon*. La plupart d'entre eux ont laissé de nombreux débris dans les pampas de l'Amérique du Sud.

Le *Glyptodon* était un tatou de la taille du bœuf ; comme lui, il était protégé par une carapace solide et osseuse ; sa queue et son crâne étaient également couverts d'écailles. On

peut en voir un squelette presque entier au Museum d'Histoire naturelle de Paris.

Le *Megatherium*, appelé aussi *animal du Paraguay*, parce que c'est dans ce pays qu'on a trouvé pour la première fois son squelette, était aussi gros qu'un éléphant. Il avait la face courte et les dents des paresseux, mais ses membres étaient propres à la marche et son corps se terminait par une queue. Ses pieds étaient munis d'ongles tranchants et recourbés, à l'aide desquels il creusait la terre autour des arbres et coupait la racine ; puis, se dressant sur ses pieds de derrière et sur sa queue, il saisissait l'arbre avec ses membres antérieurs, l'ébranlait et le renversait pour en faire sa nourriture.

Le *Megalodon* et le *Megalonyx* ressemblaient beaucoup au *Megatherium*, dont ils ne différaient guère que par leur taille plus petite et leurs formes moins lourdes.

Faune australienne. — En Australie, la faune diluvienne était, comme la faune actuelle, composée surtout de mammifères marsupiaux, mais tous de taille gigantesque. Elle offrait en outre quelques types qui n'existent plus, tels qu'un grand carnassier analogue au lion et de gros animaux herbivores de la force de l'hippopotame.

870. Cours d'eau. — Dès le début de l'ère quaternaire, l'emplacement des principaux cours d'eau qui constituent notre régime hydrographique était à peu près dessiné. C'est ce qui, dans bien des cas, ressort nettement de la disposition des sédiments pliocènes et même miocènes. Ainsi la situation des faluns de la Touraine dans le bassin de la Loire et celle des conglomérats du bassin du Rhône indiquent que les vallées suivies par ces deux fleuves existaient déjà à l'état rudimentaire.

Les cours d'eau possédaient alors un volume beaucoup plus considérable que de nos jours. D'après Belgrand, la Seine avait à Paris 6 kilomètres de largeur et roulait 60.000 mètres cubes par seconde dans les temps de grandes crues, tandis que sa largeur moyenne n'est maintenant que de 160 mètres et que son débit ne dépasse guère 2.500 mètres cubes.

Ces énormes masses liquides ont approfondi en plusieurs

fois les dépressions dans lesquelles elles s'écoulaient pour leur donner leurs formes actuelles. Mais pendant toute cette période de creusement, elles n'ont pas toujours suivi le même cours, et il est arrivé qu'elles ont abandonné leur sillon primitif pour se faire un lit plus étroit et plus profond.

Dans les circuits que décrit une rivière, on remarque souvent en effet que les presqu'îles ainsi entourées sont séparées des plateaux auxquels elles se rattachent par un isthme de largeur variable, qui présente une dépression située dans la direction générale de la vallée. Cette dépression, sur laquelle on constate parfois des graviers d'alluvion, faisait partie d'un ancien lit dans lequel coulait la rivière, à une époque où la vallée n'avait pas encore sa profondeur actuelle.

Des changements de direction beaucoup plus importants se sont produits dans certains cas. Pour ne citer qu'un exemple, la Moselle, avant de se jeter dans le Rhin, a été un affluent de la Meuse, ainsi que l'a montré Buvignier.

Quand on examine attentivement les graviers d'alluvion de ce dernier cours d'eau, on s'aperçoit qu'en amont de Pagny (département de la Meuse), ils se composent exclusivement de galets calcaires provenant des coteaux jurassiques qui l'encaissent depuis sa source, tandis qu'en aval on trouve en abondance, non seulement dans son lit mais encore sur les pentes de la vallée, des cailloux roulés de grès triasique, de quartz, de granite, etc., dont l'origine vosgienne est incontestable. On ne comprend pas au premier abord comment ces roches ont pu être amenées là, car la Meuse n'a aucun affluent sorti des Vosges.

Tout s'explique si l'on observe que près de Toul la Moselle, qui prend sa source dans les Vosges, reçoit la petite rivière de l'Ingressin qui est placée sur son prolongement, que la vallée où court cette rivière est tapissée de galets vosgiens, et qu'enfin en remontant cette vallée on arrive à un col qui aboutit à la vallée de la Meuse, précisément à Pagny. Il est bien clair que la Moselle a passé par le col de Pagny[1] pour

1. Le col de Pagny a depuis longtemps attiré l'attention des ingénieurs. Vauban avait projeté d'y établir un canal de jonction, qui devait avoir sept

joindre ses eaux à la Meuse en lui apportant les débris qu'elle roulait, à une époque fixée par les dents et ossements de mammouth que l'on trouve dans les graviers de l'Ingressin. Plus tard, le barrage qui retenait ses eaux au N.-E. ayant été rompu, elle a fait une inflexion brusque et a pris son cours actuel.

871. Graviers d'alluvion. — La composition des graviers d'alluvion dépend de la nature géologique des terrains traversés par la rivière qui les a roulés. En un point déterminé de la vallée, les roches les plus abondantes proviennent de contrées peu éloignées, à moins qu'elles ne soient de nature à être altérées par les eaux. Cependant les fragments de roches dures et très cohérentes peuvent se trouver loin des lieux de leur origine ; c'est ainsi que dans la vallée de la Seine, on retrouve des cailloux de granite du Morvan jusqu'en Normandie.

Les cailloux ont les angles arrondis et ils alternent souvent avec des veines irrégulières de sable fin ; ce qui indique qu'il y a eu des alternatives de crues violentes et de faible débit dans le régime de la rivière. Ces sables sont parfois disposés en lits obliques à la stratification générale, semblables à ceux qu'affectent les sables charriés de nos jours. La figure 532 donne une idée du mode d'arrangement de ces matériaux.

Les cailloux sont quelquefois agglutinés par des infiltrations calcaires ou ferrugineuses, de manière à former des poudingues d'une grande dureté.

Il n'est pas rare de rencontrer au milieu de ces graviers des galets de grandes dimensions. Ceux de la Seine renferment des blocs granitiques provenant du Morvan, qui à Paris ont plus d'un mètre cube ; il y a aussi des morceaux de meulière, amenés probablement dans la vallée par suite d'un éboule-

écluses et être alimenté par une prise d'eau faite dans la Meuse près de Pagny-la-Blanche-Côte, à 16 kilomètres en amont de Pagny-sur-Meuse. C'est là que passe aujourd'hui le canal de la Marne au Rhin, mais on a évité en partie les sinuosités de la vallée en perçant un tunnel à Lay-Saint-Remy.

ment à la traversée de la Brie et qui cubent jusqu'à 12 mètres cubes.

Fig. 532.—Coupe d'une carrière dans les graviers de la Seine à Levallois-Perret (Reboux). — 1, cailloux et sables gris; 2, cailloux; 3, cailloux et sables gris; 4, cailloux jaunâtres; 5, limon argileux; 6, cailloux et sables gris; 7, alternance de petites couches blanchâtres ou noircies par du manganèse, déposées obliquement par un fort courant; 8, sable blanc; 9, sable jaune; 10, cailloux unis par un ciment limoneux; 11, limon rougeâtre; 12, humus superficiel noirâtre.

Si l'on en juge par les angles à peine émoussés de quelques-uns des gros fragments, il n'est pas impossible qu'ils aient été portés par des glaçons.

Les fossiles que l'on observe le plus souvent dans les graviers d'alluvion sont des ossements de mammifères, et notamment des molaires d'éléphant, de rhinocéros, etc. On y trouve aussi des débris de l'industrie humaine sous forme de silex taillés. Les coquilles fluviatiles sont peu communes, en raison de leur faible résistance ; on ne les constate guère que dans les veines de sable fin.

La position des graviers à différents niveaux sur les terrasses des vallées (fig. 533) tend à faire supposer que le creusement a eu lieu par étapes successives. C'est là l'explication qui se présente la première à l'esprit ; mais si elle peut être admise dans un certain nombre de cas, il faut se garder de la généraliser.

Quand on serre la question de près, on reconnaît en effet que le phénomène est beaucoup plus compliqué et il s'en faut que la stratigraphie des graviers soit près d'être élucidée. Différentes observations, tirées notamment de la faune, montrent

que des représentants de la première phase d'alluvionnement sont susceptibles de se trouver à toutes les hauteurs. Il se peut en outre qu'il y ait eu des remaniements, en vertu des-

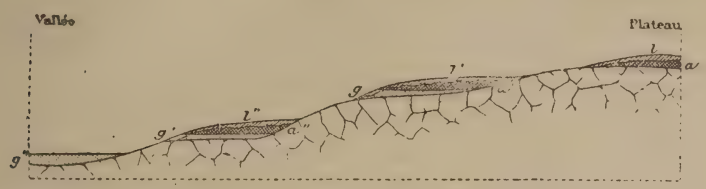


Fig. 533. — Coupe normale des vallées du nord de la France (Prestwich et de Mercey). — *g, g', g''*, graviers de fond des divers niveaux ; *a, a', a''*, alluvions de rive ; *l, l', l''*, limons rouges à éclats de silex.

quels les graviers actuels des terrasses et des fonds de vallées proviendraient de dépôts épais, entassés dans de grandes dépressions et remontant à la période pliocène, peut-être même à la période miocène.

872. Lœss. — Le lœss est un dépôt argilo-sableux, qui tantôt se trouve localisé dans les vallées, tantôt recouvre de vastes surfaces sur les plateaux comme dans le nord de la France. Son épaisseur en Europe varie de quelques mètres à 80 mètres. En Chine, on l'a reconnu sous l'énorme puissance de 400 mètres, avec une homogénéité parfaite et sans la moindre trace de stratification.

On l'observe à toute altitude jusqu'à 1.500 mètres en Europe. Dans les régions accidentées, il présente fréquemment à sa base, sur les bords des plateaux, des veines de petits fragments anguleux qui se perdent dans la masse quand on s'éloiloigne de ces bords.

Le lœss est essentiellement formé par un mélange intime d'argile et de sable quartzeux en petits grains anguleux. Il est coloré en gris jaunâtre par de l'oxyde de fer et renferme toujours une certaine quantité de carbonate de chaux, parfois concentré en concrétions de formes variées ou *septaria*. On y rencontre près de la surface de nombreuses veines minces ramifiées, tapissées d'un mince enduit calcaire, qui paraissent être des traces de racines. Sur les plateaux, le lœss est presque

complètement privé de fossiles ; dans les vallées, on y trouve des ossements de mammifères et quelques coquilles terrestres d'espèces encore vivantes.

Tels sont les caractères généraux du lœss. Il offre toutefois quelques variations locales qui tendent à indiquer qu'il est fonction du sous-sol. Au contraire des graviers dont les éléments viennent de plus ou moins loin, il renferme des débris des roches voisines.

On a émis bien des hypothèses pour expliquer la formation du lœss. Pour les uns, c'est le résultat d'une grande inondation ; pour d'autres, c'est une boue produite par les glaciers qui ont recouvert une grande partie du globe ; pour d'autres encore, c'est une accumulation de poussières soulevées par les vents. Ces trois hypothèses se heurtent à de graves objections ; on peut répondre à la première que les coquilles du lœss sont presque exclusivement terrestres et non fluviatiles, à la seconde que les boues actuellement formées par les glaciers ont un aspect tout différent, à la troisième qu'il y a exagération dans le rôle attribué aux vents, en présence surtout de la grande puissance que peut atteindre le dépôt. C'est l'action lente et incessante du ruissellement qui paraît le mieux rendre compte de la formation du lœss ; on comprend ainsi pourquoi le lœss se trouve principalement dans les régions où existaient des formations argilo-sableuses susceptibles d'être désagrégées et entraînées par les pluies diluviennes, et pourquoi il ne se rencontre pas sur le granite.

873. Limon rouge. — Le limon rouge est une argile de coloration brun rougeâtre foncé, presque entièrement dénuée de calcaire, qui recouvre souvent le lœss, mais qui peut également reposer sur toutes sortes de formations. On le trouve sur les flancs et dans le fond des vallées aussi bien que sur les plateaux. Il renferme fréquemment des cailloux, placés en général à sa base, et qui ont pour caractère d'être toujours anguleux.

Sa surface inférieure est presque constamment onduleuse et tourmentée, ce qui a pu faire croire qu'il ravine les dépôts sous-jacents. Mais si ce ravinement s'est effectivement produit

dans certains cas, ce n'est le plus souvent qu'une apparence, car, lorsque le limon rouge est superposé aux graviers d'alluvion, on voit se prolonger sans déviation au milieu de sa masse les lits horizontaux de cailloux roulés (fig. 534).

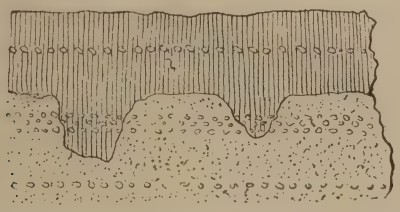


Fig. 534. — Superposition du limon rouge aux graviers d'alluvion.

Le limon rouge convient, mieux que le lœss, pour la fabrication des briques. C'est lui qui constitue, dans le nord de la France, ces excellentes terres végétales, éminemment propres à la culture du blé et de la betterave.

On a cherché à expliquer la formation de ce limon par l'action d'eaux chargées d'acide carbonique qui, en ruisselant à la surface du sol, ont dissous le calcaire et abandonné un résidu argileux rougeâtre. Mais cette théorie ne rend pas compte de la présence des cailloux, et il semble que c'est à l'intervention du froid, ou encore mieux à des alternatives de gelée et de dégel, que l'on doive attribuer la division des roches en fragments qui se retrouvent avec leurs angles vifs dans la boue limoneuse. Le dépôt, après sa formation, a pu d'ailleurs être entraîné par les eaux et glisser sur les pentes.

Le limon rouge aurait ainsi une origine en grande partie glaciaire, tandis que le lœss serait dû surtout à l'écoulement superficiel des eaux pluviales.

874. Anciens glaciers. — Dans un grand nombre de massifs montagneux, l'existence d'anciens glaciers de vastes dimensions est démontrée par divers indices des plus significatifs, identiques à ceux que laissent les glaciers actuels. Ce sont des roches striées ou polies (fig. 535), des moraines placées en travers des vallées ou sur leurs pentes, des boues mê-

lées de cailloux striés, des blocs erratiques emmenés par la glace, sur laquelle ils sont tombés, jusqu'à de grandes distances de leur point de départ. C'est ainsi que dans le Jura on

Fig. 535. — Calcaire poli et strié par le glacier de Rosenlauï (Suisse), présentant deux rangés de stries.

retrouve de gros fragments de protogine du Mont Blanc. Les blocs erratiques, dont le volume peut atteindre 1.000 mètres cubes et davantage, occupent parfois des positions bizarres qu'ils ont prises à la suite de la fusion de la glace qui les portait (fig. 536).

Fig. 536. — Bloc erratique de granite de l'ancien glacier d'Argelès (Pyrénées), au Béout près de Lourdes.

A l'aide de ces traces, on a pu souvent reconstituer avec une grande exactitude les limites des surfaces occupées par

les glaciers de la période diluvienne. L'un des champs de glace les mieux connus est celui de la vallée du Rhône, grâce aux minutieuses et patientes observations de MM. Falsan et Chantre.

Cet immense glacier (fig 537), dont les névés s'élevaient jusqu'à 3.550 mètres d'altitude et qui avait en certains points plus de 1.600 mètres d'épaisseur, descendait des hauteurs du Mont Rose et du massif du Mont Blanc. Après avoir comblé tout le Valais d'une masse de glace compacte, il se divisait en deux courants. L'un s'épanchait au nord par la plaine suisse pour rejoindre le glacier de l'Aar et s'étendre avec lui jusque dans la vallée du Rhin. L'autre continuait sa marche vers le

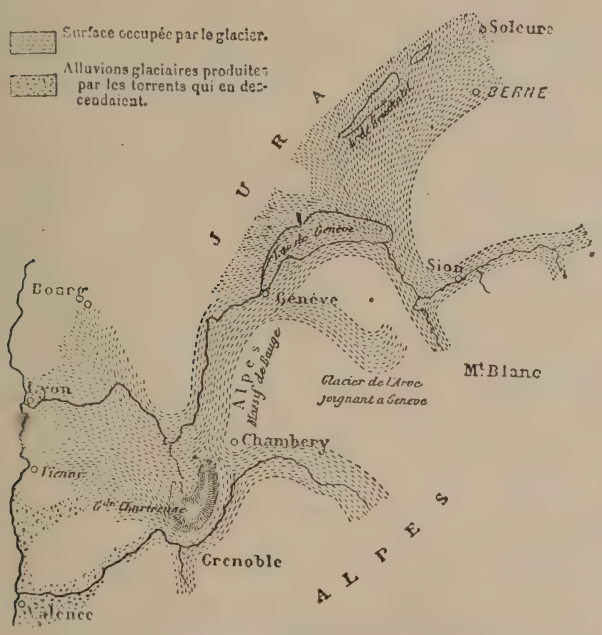


Fig. 537. — Carte de l'ancien glacier du Rhône.

sud par la vallée du Rhône, et ne tardait pas à rencontrer d'autres glaciers descendus des Alpes par les vallées de l'Arve et de l'Isère. La réunion avec ce dernier se faisait autour du massif de la Grande-Chartreuse et cette énorme masse de glace, se dirigeant en droite ligne sur Lyon, allait buter contre

les montagnes du Lyonnais. Elle s'étendait alors au nord sur la plaine de la Bresse jusqu'aux environs de Bourg, et au sud jusqu'à Vienne.

De puissants amas de glace existaient encore dans toutes les autres vallées des Alpes. Celui de la vallée de l'Adige recouvrait les plaines du nord de l'Italie et on en a retrouvé des traces à une hauteur de 1.500 mètres au dessus du sol actuel de cette vallée.

Les Pyrénées, aujourd'hui si dénudées, avaient aussi des champs de glace occupant toutes les principales vallées, soit sur le versant français, soit sur le versant espagnol, principalement dans la partie centrale de cette chaîne. Le glacier d'Argelès, dont la longueur était de 53 kilomètres, étalait ses moraines terminales dans la plaine ondulée sous-pyrénéenne et s'avançait jusqu'à 15 kilomètres de Tarbes à l'altitude de 400 mètres environ ; il couvrait avec ses affluents et ses névés supérieurs une surface de 140.000 hectares. C'est ce glacier qui a poli et strié les rochers calcaires de Lourdes.

Les Vosges et le Plateau Central, beaucoup moins élevés que les Alpes et les Pyrénées, portent également des traces de l'action glaciaire. Toute la partie méridionale du premier de ces massifs a été recouverte de glace. Dans la vallée de la Savoureuse notamment, on voit des blocs répandus sur les deux versants jusqu'à 100 mètres au-dessus de la rivière, avec des dimensions qui représentent parfois un volume de plus de 100 mètres cubes ; près de Giromagny, les roches sont polies ; des moraines frontales, au nombre de sept, se trouvent en travers de la vallée et indiquent par leur disposition en échelons une retraite successive des glaces.

Enfin, dans les Carpathes, dans le Caucase, dans la Sierra Nevada au sud de l'Espagne, dans l'Himalaya, et dans plusieurs autres massifs montagneux, on a reconnu la présence d'anciens amas de glace.

Mais tous ces glaciers ne sont rien à côté de ceux qui s'étendaient presque sans solution de continuité dans les contrées septentrionales de l'Europe, ne laissant émerger çà et là que quelques pointements rocheux. La glace recouvrait alors toute la péninsule scandinave, l'Islande, l'Écosse, l'Irlande, le nord

de l'Angleterre et une grande partie de la Russie occidentale, et formait ainsi un vaste manteau analogue à celui que nous montre actuellement le Groenland.

Ces régions sont bordées sur tout leur périmètre par une bande de 2 à 5 degrés de largeur, sur laquelle on reconnaît l'existence de blocs erratiques du nord, de sables, de graviers et de vases glaciaires, qui arrivent à constituer un véritable terrain auquel on donne le nom de *diluvium scandinave*, *terrain erratique du nord* ou *drift*, bande qui comprend la partie moyenne de la Russie d'Europe, la Pologne, une partie de la Prusse, du Danemark, vient se perdre en Hollande à la hau-du Zuiderzée et entame le sud de l'Angleterre ainsi que la lisière du Cotentin,

L'extension des glaciers dans la période diluvienne n'est pas spéciale à notre continent. On en a aussi recueilli des preuves indiscutables en Amérique, où le phénomène glaciaire s'est même manifesté avec une intensité supérieure à ce qui s'est produit en Europe.

Les glaciers diluviens, de même que ceux de nos jours, ont subi de nombreuses oscillations, attestées par exemple dans les Vosges par les moraines frontales en retraite. Mais on a pu établir en outre qu'il y a eu au moins deux époques glaciaires, ou tout au moins deux phases de grande extension. C'est dans la première que les glaces ont atteint leur maximum de développement. Ainsi, dans l'Allemagne du Nord, les dépôts glaciaires de la première époque reposent sur les plus anciennes alluvions quaternaires et s'étendent jusqu'aux massifs montagneux, tandis que ceux de la seconde époque se tiennent plus au nord, à une distance des précédentes variant de 25 à 100 kilomètres, et que dans l'espace intermédiaire les cailloux erratiques sont recouverts par le lœss.

Dans les Pyrénées, on a constaté des faits analogues. Les alluvions qui recouvrent le pied de la chaîne, pour atteindre leur développement maximum au plateau de Lannemezan, peuvent se diviser en deux étages ; c'est sur l'étage inférieur, c'est-à-dire sur le plus ancien, que reposent les moraines de la première époque, et sur l'étage supérieur que se trouvent celles de la seconde époque.

875. Dépôts des cavernes. — Nous avons vu que dans presque tous les pays calcaires se trouvent des cavités plus ou moins considérables, communiquant avec l'extérieur par des fentes ou des puits naturels. Nous en avons expliqué la formation (n° 58) par l'action d'eaux souterraines, produisant des effets de dissolution et d'érosion sur des vides préexistants qu'on peut attribuer à des dislocations.

Dans la période diluvienne, ces effets étaient incomparablement plus puissants que de nos jours, et l'élargissement des cavernes augmentait avec l'approfondissement des vallées. Les eaux des rivières durent y pénétrer à plusieurs reprises, en même temps que la pluie y amenait des matériaux de la surface. Il en résulte que leur sol s'est recouvert dans bien des cas de graviers, de sable, de limon, tout à fait analogues à ceux des vallées. D'autre part, les eaux d'infiltration produisaient des stalactites et des stalagmites, et l'on connaît des cavernes dans lesquelles les dépôts de transport alternent plusieurs fois avec des planchers stalagmitiques, ce qui est la preuve de phases alternatives de calme et d'invasion par les eaux.

Ces cavernes sont souvent de riches gisements de débris fossiles. On y trouve de véritables charniers ; ainsi la grotte de Gailenreuth, en Franconie, a fourni plus de mille squelettes complets d'*Ursus spelæus*, et deux cents d'hyènes, de loups, de lions, de gloutons, etc. Ces ossements sont mêlés à une terre rouge provenant de la rubéfaction du limon par voie de peroxydation de l'oxyde de fer, et identique à l'argile rouge des plateaux. Nous verrons plus tard que c'est dans les cavernes qu'on a recueilli les documents les plus intéressants pour l'histoire de l'homme, qui y a laissé les débris de son industrie et quelquefois des fragments de son squelette.

Dans le plus grand nombre des cavernes, les os de mammifères se retrouvent brisés, parfois même imparfaitement roulés, disséminés ou réunis pêle-mêle dans le limon rouge. Les herbivores les plus inoffensifs y sont associés à des animaux féroces. Ces circonstances semblent indiquer que, dans la plupart des cas, les ossements ont été transportés en même temps que les matières meubles. Cependant il est probable que certaines cavernes, celles surtout où existent des squelettes pres-

que entiers de grands carnassiers, ont servi de repaires à ces animaux et on peut admettre, d'après les traces constatées sur les os d'herbivores, que ce sont eux qui ont broyé ou rongé ces os. Tel semble être le cas pour la grotte de Kirkdale, en Angleterre, où il y a en outre de nombreux coprolithes d'hyènes.

876. Brèches osseuses. — Les amas d'ossements ne se trouvent pas seulement dans les cavernes. Ils forment souvent des sortes de conglomérats, remplissant des poches, des boyaux ou des fentes, qui sont composés de débris de diverses roches et d'os cimentés par une terre ferrugineuse, parfois pénétrée de matières animales. Ces conglomérats ont été généralement produits par des eaux plus ou moins chargées de principes minéraux, qui ont entraîné dans des cavités du sol des matériaux d'origines diverses qui se sont ensuite agglutinés.

L'une des brèches les plus remarquables que l'on puisse citer en France est celle du plateau de Santenay, dans la vallée de la Saône. Les squelettes y sont entiers comme si les animaux, surpris par l'effondrement du sol, étaient tombés dans des gouffres béants que la neige leur dissimulait sans doute.

La plupart des conglomérats ossifères forment en Europe une sorte de ceinture autour de la Méditerranée. On en trouve notamment à Cette, à Antibes, à Nice, sur les côtes de l'Italie, sur le littoral de l'Algérie. Il en existe aussi dans bien d'autres régions. Dans les environs de Buenos-Ayres, par exemple, et jusqu'au pied de la chaîne des Andes, Alcide d'Orbigny a observé de vastes amas qui occupent une surface d'environ 95.000 kilomètres carrés, et qui sont constitués par un limon rougeâtre enveloppant des squelettes entiers ou des os séparés. Les immenses troupeaux de bêtes à cornes et de chevaux, qui paissent librement dans les pampas de la Plata et qui sont souvent décimés par une mortalité effroyable, laissent des dépouilles qui viennent s'ajouter aux anciens débris. Ces matières phosphatées sont exploitées et envoyées principalement en Angleterre, où on les livre à l'agriculture.

Dans toutes les parties du monde, sous toutes les latitudes, on rencontre des ossements de mammouth, surtout des dé-

fenses et des molaires. C'est un fait remarquable que cette grande diffusion des restes d'une seule espèce d'animal. Mais c'est en Sibérie que ces restes se montrent avec le plus d'abondance, et chaque année les rivières qui descendent sur la mer Glaciale rongent des portions nouvelles de leurs rives et y mettent à découvert les os que la terre contient. Quelques îles de cette mer, situées en face du rivage qui sépare l'embouchure de la Léna de celle de l'Indigirska, ont un sol qui, pour sa plus grande partie, n'est qu'une agglomération de sable, de glace et de dents et de défenses d'éléphant.

Les habitants de la Sibérie font un fructueux commerce de cet ivoire fossile qui s'importe en Chine et en Europe, où on le consacre aux mêmes usages que l'ivoire ordinaire fourni par l'éléphant et l'hippopotame d'Afrique. On rapporte souvent des *îles à ossements* des défenses pesant jusqu'à 200 kilogrammes. Malgré une exploitation qui remonte à cinq cents ans, le rendement de ces mines d'un nouveau genre ne diminue pas.

En général les débris osseux des animaux diluviens, quoique plus altérés que ceux de la période moderne, n'ont éprouvé que d'assez faibles modifications. En Sibérie ils se sont encore mieux conservés qu'ailleurs, à cause du froid. On y a même trouvé des cadavres entiers de mammouth et de rhinocéros, avec leurs poils et leur chair, enchâssés dans des blocs de glace.

877. Mouvements du sol. — Sans atteindre, même de loin, l'amplitude qu'ils avaient dans les âges précédents, les mouvements du sol n'ont pas laissé d'être assez importants pendant la période diluvienne.

C'est ainsi que, d'après M. Lory, les alluvions sur lesquelles reposent les anciennes moraines glaciaires des Alpes et qui s'étendent dans les vallées de la Suisse et du Dauphiné, en s'élevant aux environs de Genève jusqu'à des altitudes de 200 et 300 mètres, auraient été déposées par la mer, puis portées à ces hauteurs par un soulèvement. Toutefois, il n'est pas encore bien prouvé que ces alluvions ne remontent pas à la fin du pliocène.

La Scandinavie paraît avoir subi après la première époque

glaciaire un affaissement de 300 mètres, à la suite duquel les dépôts des glaciers furent remaniés par les eaux; puis cette submersion fut suivie d'une période d'exhaussement qui se continue de nos jours. Les preuves de ce relèvement se trouvent encore dans les plages soulevées, qui montrent des vestiges d'anciens rivages marins, tels que des coquilles d'espèces vivantes, à diverses hauteurs au-dessus de la mer.

Les plages soulevées n'existent pas seulement en Scandinavie. On les constate sur les côtes d'Angleterre, où elles atteignent l'altitude de 360 mètres, sur les côtes de la Manche en France, en de nombreux points du pourtour de la Méditerranée, en Amérique, etc.

Les mouvements du sol ont pu même amener des changements géographiques notables. C'est à la période diluvienne que M. Suess rapporte le creusement de la mer Egée, qui a isolé la Grèce de l'Asie mineure.

878. Succession des phases de la période diluvienne. — Il est très difficile d'établir la chronologie des phénomènes de la période diluvienne, d'autant plus qu'ils ont pu être concomitants. Ainsi les deux grands faits que nous venons d'étudier, c'est-à-dire l'accumulation sur de vastes espaces d'immenses quantités de glace et l'extension des cours d'eau, ne se sont pas nécessairement produits successivement, comme le croient plusieurs personnes ; il est très probable au contraire qu'ils ont eu lieu simultanément, parce qu'ils sont dus à la même cause.

Tout nous porte à penser qu'à son début la période diluvienne possédait encore un climat relativement élevé, qui était la continuation de celui de la fin du pliocène, alors que vivait l'*Elephas meridionalis*. Mais bientôt le climat devient humide ; d'abondantes chutes de pluie et de neige s'abattent sur la surface de la terre ; les rivières creusent leur lit en y déposant des graviers ; sous l'action du ruissellement, les plateaux se recouvrent de limon, dont la formation était déjà amorcée dans la période précédente ; la glace s'amasse sur les sommets des montagnes et sur les régions septentrionales, descend dans les vallées et vient recouvrir les premiers dépôts diluviens, en

y mélangeant les matériaux qu'elle entraîne. C'est la *première époque glaciaire.*

Puis la température se radoucit et les glaciers reculent. C'est l'*époque interglaciaire*, ainsi nommée parce qu'elle est suivie d'une *seconde époque glaciaire*, due à un retour du froid, moins rigoureuse toutefois que la première.

Pendant cette seconde époque, les rivières n'ont plus qu'un lit restreint ; il ne se forme plus de dépôts importants de limon des plateaux, mais les alternatives de gelée et de dégel contribuent à produire le limon rouge. C'est alors que prédomine le renne, avec les autres animaux émigrés.

Il nous faut maintenant tâcher de découvrir les causes qui, à deux reprises différentes, peut-être à trois et même davantage d'après certains observateurs, ont amené de telles perturbations climatériques.

Plusieurs géologues, entre autres Lyell, se contentent d'invoquer des variations d'ordre géographique de nature à modifier la direction des vents et des courants marins et à faire naître un climat particulièrement humide. Se fondant sur ce qu'il suffirait de supposer des précipitations neigeuses plus abondantes pour augmenter le volume des glaciers actuels et les voir descendre jusqu'à de grandes distances dans les vallées, ils en concluent que le phénomène glaciaire de la période diluvienne ne réclame pas une cause de froid et s'explique par la présence d'une énorme quantité d'humidité.

Sans doute, on peut admettre qu'avec des condenseurs comme les Alpes et les Pyrénées l'humidité seule suffise à exagérer les dimensions des glaciers que nous observons dans ces montagnes. Mais en présence de l'amplitude et de la généralité du phénomène, il est difficile de s'arrêter à l'idée que de simples modifications géographiques aient déterminé sur d'aussi vastes étendues un climat assez humide pour amener une semblable accumulation de glace. D'aussi puissants effets exigent d'autres causes.

Les facteurs météorologiques étant reconnus insuffisants, nous sommes tout naturellement conduits à porter nos investigations en dehors du globe terrestre et à nous adresser à l'astronomie.

Si nous nous en rapportons à Fourier et à Poisson, notre système planétaire subit un mouvement de translation à travers l'espace céleste. Dans ce mouvement, il traverse des régions soumises à l'influence calorifique des étoiles et où la température peut être très différente. Son arrivée dans un milieu plus froid que celui où il se trouvait antérieurement aurait pour conséquence une diminution de la chaleur à sa surface.

Cette hypothèse peut être au premier abord séduisante par sa simplicité, mais elle ne repose pas sur des bases bien solides ; nous ne sommes en effet fixés ni sur la direction exacte du mouvement de translation, ni sur la manière dont varie la température dans les diverses parties de l'espace céleste. Elle soulève en outre une objection capitale : c'est que le froid à lui seul ne peut amener la production de la glace, comme on le voit aux sommets dénudés de l'Himalaya. Pour que la pluie ou la neige tombe en un point, il est nécessaire qu'il se forme ailleurs une quantité équivalente de vapeur et par suite que, si certaines régions de la terre sont refroidies, d'autres soient échauffées.

La théorie qu'il nous reste à exposer, qui est basée sur les perturbations que la terre éprouve sous l'action des corps célestes de notre système planétaire, ne mérite pas ces reproches, ainsi qu'on va le voir.

On sait que l'année peut se partager en deux saisons d'inégale durée : l'une, la saison chaude, comprenant le printemps et l'été, l'autre, la saison froide, comprenant l'automne et l'hiver. Actuellement, par suite de la forme elliptique de l'orbite terrestre et de l'obliquité de l'écliptique, le soleil reste environ huit jours de plus au-dessus de l'équateur qu'au-dessous, et la saison chaude est plus longue que la saison froide pour notre hémisphère. C'est le contraire dans l'autre hémisphère.

D'autre part, le périhélie a lieu en hiver et l'aphélie en été. Par conséquent, le soleil est plus près de nous au 1er janvier qu'au 1er juillet, ce qui rend nos étés un peu moins chauds et nos hivers un peu moins froids. C'est encore l'inverse pour l'autre hémisphère.

Mais les choses ne se sont pas toujours passées ainsi. L'excentricité de l'orbite elliptique, qui est en ce moment de 0,016 de la distance moyenne au soleil, n'est pas constante ; elle varie, sous l'influence perturbatrice des planètes, de 0,012 à 0,057; en d'autres termes, la différence entre les plus grandes et les plus petites distances au soleil oscille entre 2 et 21 millions de kilomètres. Il en résulte un écart entre la durée de la saison chaude et celle de la saison froide qui est de 5 à 36 jours. Quand l'excentricité atteint son maximum, il y a donc, pour l'un des hémisphères, une cause importante d'aggravation du froid.

Supposons en second lieu que l'hiver coïncide précisément avec l'aphélie, on aura une seconde cause de refroidissement, et il est permis de croire qu'il se produira à ce moment dans un hémisphère une époque glaciaire, qui subsistera jusqu'à ce que la précession des équinoxes ait placé cet hémisphère dans la position inverse, soit 10.500 ans.

Telle est la théorie qui nous paraît être la plus plausible. Elle met en cause des facteurs dont le jeu a été bien établi par les astronomes ; elle rend compte de l'évaporation active nécessaire à une grande production de glace, puisque dans une période de 21.000 ans les deux hémisphères sont alternativement placés dans des positions identiques ; elle explique les diverses phases d'activité des glaciers, car une époque glaciaire n'était pas seulement une période de froid, mais encore une période de températures extrêmes dans laquelle chaque oscillation du pendule des températures ne durait pas moins de 21.000 ans. Elle ne repousse pas d'ailleurs l'influence des variations météorologiques, dont les effets pouvaient se combiner avec les siens soit pour les aggraver, soit pour les atténuer.

D'après les calculs de M. Croll, qui a le premier songé à faire intervenir l'excentricité de l'orbite terrestre, la dernière grande époque glaciaire remonterait à 300.000 ans environ.

§ II.

PÉRIODE ACTUELLE.

879. Caractères généraux. — La période diluvienne passe par transitions insensibles à la période actuelle, sans qu'il soit possible de tracer entre elles une démarcation tranchée. Les pluies deviennent moins abondantes, les rivières resserrent leurs lits, les glaciers se retirent vers les pôles ou sur les sommets des montagnes, les tourbières se développent dans les vallées où le cours de l'eau est suffisamment ralenti, l'activité éruptive se calme, la température ne subit plus que de faibles modifications.

Il convient de dire cependant que quelques changements climatériques se sont produits dans les temps historiques. Le climat de la Gaule et de la Germanie était autrefois plus rude, si l'on s'en rapporte aux historiens. Celui de l'Algérie se trouvait, à l'époque de la domination romaine, dans des conditions météorologiques des plus favorables à la végétation. C'est surtout au déplacement des vents, sans doute aussi au déboisement, que l'on peut attribuer ces modifications locales ; toutefois les variations d'ordre astronomique, que nous avons examinées précédemment, ont dû également intervenir dans une certaine mesure.

Nous avons étudié dans la première section de cet ouvrage les principaux phénomènes qui signalent la période actuelle et les dépôts de diverse nature auxquels ils ont donné naissance. Il est donc inutile d'y revenir ici. Nous nous contenterons de développer quelques brèves considérations sur les modifications qu'ont subies les espèces organiques et de dire quelques mots des tourbières, qui différencient essentiellement la période actuelle de la précédente, au moins par leur extension au-delà du 45e degré de latitude.

880. Migration et destruction des espèces. — Si la faune et la flore de notre époque sont restées, sur la terre et dans l'océan, ce qu'elles étaient dès le début de la période actuelle, sans qu'on puisse saisir la moindre transformation dans les formes, elles n'en ont pas moins subi des modifications semblables à celles que nous avons constatées dans les âges précédents, en ce qui concerne la répartition des espèces et la disparition d'un certain nombre de types.

Il est établi que plusieurs espèces se livrent encore à des migrations lentes et progressives et qu'elles pénètrent ainsi dans de nouveaux domaines. On a constaté en Europe une immigration de mammifères, d'oiseaux et de reptiles, qui se fait surtout du sud au nord, mais aussi de l'est à l'ouest. L'un des exemples les plus frappants, quant aux mammifères, est celui du grand rat, *Mus decumanus*, qui en 1727 a traversé le Volga pour se répandre dans nos contrées où il a détruit presque partout le rat noir, *Mus rattus*, moins fort et moins féroce, venu lui-même en Europe, à ce que l'on croit, au retour des Croisades.

Outre ces conquêtes lentes, il y a aussi des migrations souvent considérables par suite de circonstances exceptionnelles ou de changements survenus dans les conditions extérieures de la vie. Telles sont les invasions des loups en Europe, celles des sauterelles venant du midi et de l'est.

La mer est le théâtre de phénomènes analogues. Dans les deux régions polaires, les animaux qui hantent le voisinage des glaces et des banquises sont en migration continuelle pour suivre les oscillations de la ceinture glacée des pôles ; les phoques et les grands cétacés avancent vers le nord en été et reculent vers le sud en hiver. En dehors de ces mouvements volontaires, il y a aussi des migrations passives pour les animaux invertébrés sous l'influence des courants marins. Mais dans les grandes profondeurs océaniques, où la température est partout la même, la faune a un caractère d'uniformité constant ; l'océan Glacial et le Pacifique nourrissent des êtres identiques, qui se signalent par leurs formes anciennes.

L'homme contribue souvent de son côté à modifier l'aire de

dissémination des espèces. Ainsi le chardon d'Europe, introduit par un navire dans l'Amérique du Sud, pullule aujourd'hui dans les Pampas, tandis que des graines accrochées aux laines d'Australie ont amené chez nous des plantes nouvelles. Les chevaux, qui s'étaient éteints en Amérique pendant la période diluvienne et qui y ont été ramenés lors de la conquête espagnole, s'y sont multipliés avec rapidité.

D'autres espèces, au contraire, sont en voie de disparition de la surface du globe, ou sont même éteintes complètement dans des régions déterminées. Par suite de la guerre d'extermination que leur fait l'homme, les animaux féroces sont loin d'être aussi nombreux qu'autrefois. Le lion de la forêt de Némée qui, au Ve siècle avant l'ère chrétienne, dévorait les chameaux de l'armée de Xerxès, a depuis longtemps disparu de la Grèce. Le dernier ours des Vosges a été tué dans la vallée de Münster en 1760. Il n'y a plus de loups dans les Iles Britanniques depuis 1710.

Cette décadence atteint des animaux utiles ou inoffensifs. L'*Urus* décrit par Jules César, ou *Bos primigenius*, bœuf de grande taille armé d'une puissante paire de cornes, que l'on chassait encore au moyen âge dans les forêts froides et brumeuses des Vosges, de l'Allemagne et de l'Angleterre et qui était domestiqué en Suisse à l'époque de la pierre polie, n'a plus que quelques descendants, à l'état demi-sauvage, qui vivent dans les vastes domaines du duc de Devonshire. L'aurochs n'existe plus que dans le Caucase et dans la forêt de Bialowicza en Russie, grâce à la protection du czar qui a défendu de le détruire ; mais le nombre en décroît tous les jours et il en reste à peine cent cinquante individus. L'éléphant a quitté l'Afrique septentrionale où il était abondant du temps des Carthaginois. La baleine, sans cesse poursuivie dans nos mers, ne trouve de refuge que dans l'océan Glacial et elle ne sera bientôt plus qu'un souvenir historique.

Par contre, l'homme a modifié les habitudes et même l'organisme de certains animaux : les uns, originaires d'Europe, comme la chèvre, le mouton, le porc, le lapin, le chat ; les autres, enlevés à des pays lointains et notamment à l'Orient, tels que le paon, le ver à soie du mûrier, l'âne, le coq. La

souche primitive de ces animaux domestiques remonte au début de la période actuelle, peut-être même à la période précédente.

881. Tourbières. — Il existait déjà des tourbières lors de la période diluvienne. Ainsi, dans le Jura, la végétation s'est rapidement développée sur les boues glaciaires qui recouvrent d'un sol imperméable les dépressions des calcaires fissurés et, comme des éponges, sont constamment humectées d'eau. Les moraines ont pu également jouer un rôle par l'obstacle mécanique qu'elles apportent à la circulation des eaux courantes. Dans un petit ilot marécageux, M. Martins a constaté que la flore des tourbières du Jura neufchâtelois offre plus de 40 pour 100 de fleurs appartenant à la flore arctique actuelle, et représente par conséquent une végétation glaciaire.

Les vastes tourbières d'Irlande renferment quelquefois des ossements de *Cervus megaceros*, semblables à ceux qui existent dans les graviers sur lesquels elles reposent. Or on s'accorde généralement à regarder cet animal comme diluvien. Il est vrai que là il aurait pu continuer à vivre pendant les premiers temps de la période actuelle.

Les petits marais tourbeux des pentes et des vallons granitiques du Morvan, situés dans des régions qui émergeaient au-dessus des mers tertiaires et des grands courants diluviens, sont peut-être même d'une époque encore plus reculée. Ce sont là toutefois de simples conjectures, auxquelles il est impossible de donner le moindre degré de certitude tant qu'on n'aura pas trouvé de fossiles dans ces marais.

Mais la grande extension des tourbières date du commencement de la période actuelle. C'est lorsque les grands cours d'eau ont été remplacés par les petites rivières modernes que la tourbe a pu se développer librement au fond des vallées. On n'y trouve en effet que des objets en pierre polie (qui, comme nous le verrons bientôt, datent de la période actuelle), en bronze, en fer, ou des ossements d'animaux modernes.

Nous avons examiné quelles sont les conditions requises

pour que la tourbe prenne naissance (nos 88-89). D'après les observations faites par Belgrand dans le bassin de la Seine, ce sont les vallées peu resserrées, où l'eau n'est pas habituellement limoneuse et où les crues ne sont pas trop violentes, qui sont les plus favorables au tourbage. La production de ce phénomène est liée au régime des eaux bien plus qu'à la nature du sol. Or, dans la période diluvienne, les eaux étaient non seulement très chargées de limon, mais encore assez violentes pour remanier les sables et les cailloux de leur lit.

Le tourbage ne s'est pas fait d'ailleurs d'une manière continue ; il a subi plusieurs temps d'arrêt. En Champagne, le sol, qui était autrefois recouvert de forêts ou tout au moins de broussailles, opposait des obstacles au ravinement des terres rouges recouvrant le plateau et les eaux arrivaient limpides dans les vallées ; plus tard, lorsque cette végétation a disparu, les terres, entraînées par le ruissellement, sont venues recouvrir la tourbe et en ont paralysé pour un certain temps la production. Certaines tourbières du littoral flamand ont été envahies par la mer qui, en se retirant ensuite, a laissé au-dessus une épaisse couche de sable ou d'argile (n° 160).

§ III.

TYPES DE TERRAINS QUATERNAIRES.

882. Vallée de la Garonne. — La vallée de la Garonne est une de celles où les terrasses sont le plus nettement accentuées, et on peut la prendre comme un exemple classique du mode de disposition des alluvions anciennes par gradins successifs.

A peine ce fleuve est-il sorti du massif des Pyrénées que sa vallée s'élargit tout à coup, pour constituer la plaine de Valentine. A Saint-Gaudens, le phénomène des terrasses commence

à se dessiner sous la forme d'un plateau d'une horizontalité presque parfaite, qui s'étend à gauche jusqu'à la base des coteaux tertiaires. Un peu plus loin, ce plateau s'interrompt sur la rive gauche pour se porter momentanément à droite du fleuve, et il ne reprend d'une manière marquée sur le côté gauche qu'à Martres. A partir de ce point il s'établit dans la vallée, et toujours à gauche, trois niveaux en forme de plaines qui se continuent jusqu'au confluent du Tarn, à Montauban. Le plus inférieur est celui de la vallée proprement dite ; le plus élevé correspond au plateau de Saint-Gaudens.

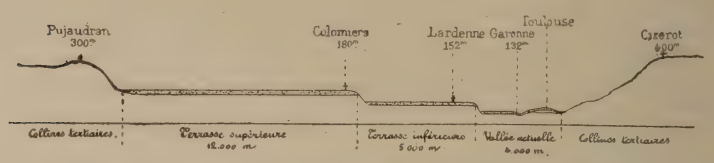


Fig. 538. — Coupe de la vallée de la Garonne à Toulouse.

La figure 538, qui représente, d'après Leymerie, une coupe de la vallée de la Garonne à Toulouse, fait ressortir clairement la disposition de l'appareil diluvien de cette vallée. Voici quelles sont les largeurs et altitudes des différentes terrasses :

	Largeur	Altitude	Différences
Terrasse supérieure (Léguevin).....	12.000m	180	28
Terrasse inférieure (Lardenne).....	5.000	152	12
Vallée proprement dite (Saint-Cyprien).	4.000	140	
Vallée géologique.....	21.000		

La ville de Toulouse, située sur la rive droite de la Garonne, repose elle-même sur une légère éminence du terrain diluvien, qui n'est sans doute qu'un témoin d'une ancienne bordure dépendant du niveau intermédiaire.

Les deux terrasses de la rive gauche ont une surface absolument plane, comme la vallée proprement dite, et contrastent avec la disposition mamelonnée des collines de Gascogne, qui se développent à l'ouest de Pujaudran, ou de celles du Languedoc qui s'étendent à l'est de Toulouse par le moulin de Cizerot.

Ces plaines élevées sont recouvertes d'une couche de gravier et de cailloux roulés, accompagnés d'un dépôt terreux et sableux qui leur est mêlé ou qui s'étend au-dessus d'eux. La puissance de cette couche est ordinairement de 3 à 6 mètres. Les cailloux sont en général de forme imparfaitement ovalaire ; ce sont principalement des quartzites de couleur brune ou noirâtre à la surface, mais gris verdâtre ou rougeâtre à l'intérieur, des grauwackes noires, des poudingues du grès rouge, du granite *toujours en état de décomposition* et un peu de quartz. Le gravier se compose de fragments arrondis ou aplatis, de même nature que les cailloux, mais d'un faible volume ; il s'y mêle quelques débris de roches schisteuses.

La terre meuble qui accompagne ces éléments grossiers consiste en une argile sableuse presque entièrement dépourvue de calcaire, dans laquelle on distingue de menus détritus des roches citées précédemment, avec quelques lamelles de mica. L'oxyde de fer, qui entre toujours dans sa composition, lui communique une couleur jaunâtre ou rougeâtre un peu sombre, caractère qui, joint à la grossièreté et à l'aspect uniforme de ce limon, permet de le distinguer à première vue des roches mieux stratifiées, plus variées et plus claires, du terrain tertiaire sous-jacent.

Une différence aussi marquée se fait sentir dans l'agriculture du pays, où ces deux terrains géologiques portent des noms distincts. On désigne sous le nom de *boulbène* le sol caillouteux et argilo-siliceux, dépourvu de calcaire, des terrasses, et on appelle *terre-fort* le sous-sol plus ou moins marneux, plus consistant que le premier, qui se relève de part et d'autre de la vallée pour constituer les collines.

Dans la vallée proprement dite, on retrouve encore les cailloux des terrasses associés à d'autres roches, telles que l'ophite, le porphyre, qui se montrent plus rarement aux niveaux supérieurs. Le granite *presque toujours intact* et ses variétés (pegmatite, leptynite) jouent là un rôle essentiel. Le limon de la basse plaine est d'ailleurs plus brun, plus mélangé, plus riche en calcaire et en humus. On a retrouvé en divers points, sur les bords de la vallée, des dents de mammouth et de *Rhinoceros tichorinus*.

On voit que l'on peut distinguer trois phases principales dans la formation de la vallée de la Garonne. Dans la première phase, les eaux ont creusé d'abord l'ancien plateau tertiaire supposé continu, sur une largeur de plus de 21 kilomètres à Toulouse, et l'ont ensuite comblé jusqu'à la hauteur indiquée par l'altitude de la terrasse supérieure. Un peu plus tard, une recrudescence dans le volume et la vitesse des eaux a déterminé un nouveau creusement dans le dépôt précédent et dans le terrain tertiaire sous-jacent, et il en est résulté un fond de vallée de 9 kilomètres de largeur. Enfin la vallée proprement dite a été produite par une nouvelle érosion, exercée sur le plateau de Lardenne, puis par un comblement qui s'est opéré sur une largeur de 4 kilomètres. Les temps actuels constituent une quatrième phase dans laquelle la Garonne, mince et impuissant filet, cherche encore à se porter à droite en rongeant les berges qui l'encaissent de ce côté et dépose des alluvions modernes, dont l'importance est insignifiante à côté des matériaux transportés par les eaux de la période diluvienne.

Il est remarquable que ces creusements successifs se soient toujours effectués vers la partie droite de la vallée, comme si les eaux avaient obéi à une force qui les aurait poussées de ce côté. C'est là un fait spécial aux rivières de la région pyrénéenne, comme à celles de la Sibérie, qui coulent du sud au nord.

Babinet a invoqué le mouvement de rotation de la terre autour de son axe pour expliquer comment l'eau, rejetée de l'ouest à l'est, tend constamment à dégrader les berges qui se trouvent sur sa droite. Mais quand on soumet cette hypothèse au calcul, comme l'a fait M. Duponchel, on constate que la déviation vers l'est n'a qu'une valeur insignifiante, puisqu'elle n'est que de $\frac{1}{20.000}$ du déplacement longitudinal. Il semble que, dans nos climats du moins, la prédominance des vents pluvieux de l'ouest suffit à rendre compte de la désagrégation plus rapide des versants orientaux.

883. Plaine du Rhin. — La vaste plaine qui s'étend en Alsace entre les Vosges et le Rhin est constituée en grande

partie par un limon fertile, sauf sur les bords immédiats des torrents venus des montagnes et le long du fleuve, où prédominent les dépôts de gravier et de sable.

Ce limon, que l'on a pris pour le type du lœss, est une sorte de marne sableuse, grise, d'une grande ténuité, renfermant de 15 à 30 pour 100 de carbonate de chaux, dont la composition est analogue à celle du limon du Nil. Cette masse sableuse est très poreuse, à peu près homogène, et a sur quelques points une épaisseur qui peut aller jusqu'à 60 ou 80 mètres ; elle s'élève un peu à droite et à gauche au-dessus de la base des montagnes de la Forêt Noire et des Vosges ; quoiqu'elle ne présente, la plupart du temps, aucun signe de stratification, on trouve cependant des indices de cette disposition dans les parties du dépôt qui contiennent des concrétions calcaires, ou bien vers la base qui repose sur une assise de sable et de gravier en couches alternantes.

Fig. 539.
Helix plebeia.

Fig. 540.
Pupa muscorum.

Fig. 541.
Succinea elongata.

Le limon se termine habituellement, dans les endroits où il a été miné par des eaux courantes, par un escarpement vertical sur la surface duquel on voit se projeter en relief des coquilles terrestres et d'eau douce : *Helix plebeia* (fig. 539), *Pupa muscorum* (fig. 540), *Succinea elongata* (fig. 541), etc. Ces coquilles, bien que d'une structure des plus fragiles et des plus délicates, sont presque invariablement dans un état parfait de conservation ; elles eussent été certainement mises en pièces si elles avaient été entraînées par une inondation violente. La couleur même de quelques-unes des coquilles terrestres, telles que l'*Helix nemoralis*, subsiste parfois. Les débris de mammifères se rencontrent très rarement ; ils appartiennent surtout au mammouth.

Comme le limon d'Alsace est très meuble, qu'il est formé d'un mélange en proportions heureuses de sable, d'argile et de

carbonate de chaux, auxquels vient s'ajouter de la potasse, et qu'enfin sa profondeur excède de beaucoup les besoins de la végétation, il constitue un excellent sol agricole, sur lequel prospèrent les cultures les plus variées. Mais dans les endroits où son épaisseur est inférieure à un mètre et où le sous-sol consiste en un gravier presque stérile, dit gravier du Rhin, comme entre Bâle et Mulhouse, il ne peut guère nourrir que des arbres. La forêt de Haguenau est établie sur un terrain placé dans ces conditions.

Les mollusques purement aquatiques, comme les planorbes, les paludines, que l'on trouve près de la base du lœss, permettent de conclure qu'il y a eu, dans les endroits où on les observe, des réservoirs et des lacs indiquant les divers lits abandonnés par le cours d'eau primitif et qui ont été comblés dans la suite.

Pour expliquer l'accumulation d'une aussi grande épaisseur de matières meubles, on peut admettre avec Lyell que, après le dépôt des graviers de la base, le sol s'est abaissé lentement, pendant la formation du lœss, pour se relever ensuite. A la suite de ce relèvement, le lœss a été raviné dans sa partie centrale, de manière à laisser subsister la plus grande épaisseur près des montagnes qui encaissent la vallée.

Les alluvions modernes ne se trouvent en Alsace que dans la partie la plus basse de la vallée, à peu près au niveau du fleuve. Elles forment une couche de $0^{m}10$ à $1^{m}50$ d'épaisseur composée en général, comme le lœss, d'un mélange de sable fin, d'argile et de carbonate de chaux, et sur laquelle poussent avec vigueur les végétaux qui ne redoutent pas l'humidité. Ce sont surtout des terrains à prairies et à forêts ; il y a cependant aussi des landes sablonneuses, couvertes de genêts et de bruyères.

Les graviers d'alluvion qui tapissent le fond de la vallée, au-dessous du lœss, renferment une nappe aquifère dont la largeur dépasse 20 kilomètres. Le niveau de l'eau y est en relation avec les crues et les basses eaux ; toutefois l'amplitude des oscillations souterraines est généralement moindre que celle des oscillations du fleuve. Cette nappe s'épanche en quelques points en sources jaillissantes, appelées *graben*, qui sont

dues à la présence accidentelle, au milieu des graviers, d'amas argileux imperméables formant barrage.

884. Nord de la France. — Le limon des plateaux occupe des surfaces étendues dans toute la partie septentrionale du bassin de Paris, surtout en Picardie, en Artois et dans la Flandre, où il recouvre de grandes plaines d'un aspect singulièrement uniforme. Ce dépôt, qui se prolonge en Belgique, dans les Pays-Bas et dans la Prusse rhénane, paraît avoir été formé en grande partie aux dépens de couches tertiaires sableuses ou argilo-sableuses ; ce qui tend à le prouver, c'est que les variations locales qu'il présente sont en rapport avec la nature des terrains tertiaires voisins.

On y reconnaît également la présence du lœss, qui se trouve à sa base, et du limon rouge, au-dessus. Le lœss, dont l'épaisseur habituelle est de 8 à 10 mètres, est une assise argilo-sableuse, à grains très fins, de couleur jaune grisâtre clair ; il renferme une assez forte proportion de calcaire, en partie sous forme de petits grains blancs qui ne sont souvent autre chose que des fragments de la craie sous-jacente, et sous forme de concrétions irrégulières ou *septaria*. Ce limon, auquel on donne le nom d'*argilette* en Normandie, de *terre douce* en Picardie et d'*ergeron* en Belgique, se maintient parfaitement en escarpements abrupts ; il est à peu près stérile et ne se recouvre que très lentement de végétation. Les fossiles y sont très rares et consistent presque exclusivement en petites coquilles terrestres et lacustres semblables à celles du lœss du Rhin.

Le limon rouge a plus d'étendue que le précédent ; on le voit souvent reposer directement sur les roches anciennes. Il se distingue du lœss par sa couleur gris rougeâtre ou brunâtre, par l'absence de carbonate de chaux, par la facilité avec laquelle il se délaye sous les influences météoriques et par la couche, mince et peu régulière d'ailleurs, de cailloux anguleux qu'il renferme à sa base. C'est lui qui fait la richesse agricole des plaines du nord de la France. Il est très propre à la fabrication des briques, tandis que le lœss est trop maigre pour cet usage ; aussi on le désigne sous le nom de *terre à briques* ou d'*argile*. Les fossiles y sont très rares.

885. Bresse. — La Bresse géologique est plus étendue que l'ancienne province de ce nom. Elle occupe la grande dépression comprise entre le Plateau Central et le Jura, depuis Auxonne jusqu'au Rhône, sur une longueur de 170 kilomètres et une largeur moyenne de 50. C'est une vaste plaine, légèrement ondulée, dont l'altitude maxima est de 326 mètres près du Rhône et qui est entièrement couverte de sable, d'argile et de cailloux roulés incohérents.

Ces matériaux de transport sont distribués et mêlés d'une manière irrégulière et constituent, suivant les lieux, des terrains agricoles de nature très différente, mais qui sont tous généralement dépourvus de carbonate de chaux ou au moins n'en contiennent qu'une quantité insuffisante pour assurer la fertilité du sol. Les terrains les moins estimés sont ceux dont le sol et le sous-sol sont à la fois argileux et qui sont connus dans le pays sous le nom de *terrains blancs*, à cause de leur couleur habituellement claire, ou de *terrains goutteux*, parce qu'ils sont presque toujours humides.

La Dombes, qui constitue la partie méridionale de la région bressane, se distingue du reste de la Bresse par certains caractères qui lui donnent une physionomie spéciale. Tandis que la Bresse proprement dite, qui s'étend au nord de Bourg et de Mâcon, a l'aspect d'une vaste plaine, la Dombes offre l'apparence d'un bourrelet transversal constitué par une série de plateaux étagés de part et d'autre d'une dorsale dirigée de Lyon à Pont-d'Ain. Les cours d'eau y sont moins nombreux que dans la Bresse ; les plateaux, peu découpés, étaient autrefois couverts d'étangs qui ont actuellement disparu en grande partie, et dont l'existence était due à l'imperméabilité du sous-sol, formé par les marnes pliocènes à paludines.

M. Delafond divise en trois catégories les terrains de transport de la Bresse : 1° les cailloutis anciens, qui succèdent immédiatement aux sables et graviers pliocènes de Trévoux à *Mastodon arvernensis*, que nous avons décrits plus haut (n° 859) ; 2° les cailloutis des plateaux et des pentes ; 3° les cailloutis des alluvions des cours d'eau.

Le premier dépôt est de composition variable suivant les régions. Dans la Bresse, il renferme surtout des éléments em-

pruntés aux Vosges, tandis que dans la Dombes il contient principalement des éléments alpins. A sa partie supérieure, ce dépôt est souvent recouvert par du limon qui se relie au sable et au gravier par un passage insensible. Quand le limon manque, les sables et les graviers sont toujours fort décomposés ; les cailloux granitiques ou porphyriques sont très altérés et l'ensemble présente généralement une teinte rougeâtre due à la suroxydation du protoxyde de fer. Cette altération est tellement caractéristique que les exploitants de matériaux pour l'empierrement des routes évitent d'ouvrir des carrières dans les cailloutis anciens, tandis qu'ils recherchent les cailloutis récents. Les argiles réfractaires qui s'y trouvent quelquefois intercalées, notamment sur les rives du canal du Centre, proviennent de la décomposition du feldspath des éléments granitiques.

Les anciens cailloutis et les limons qui leur sont subordonnés ne sont pas disposés tout à fait au hasard. Ils constituent une série de terrasses situées à des niveaux divers et sur lesquelles leur épaisseur varie de quelques décimètres à 20 mètres. Ils paraissent bien avoir une origine fluviatile, et les terrasses correspondraient à des périodes successives de creusement dans les marnes à paludines du pliocène. Ainsi que nous l'avons dit précédemment (n° 859), des dépressions avaient déjà été creusées dans ces marnes et remblayées avec les sables et graviers de Trévoux.

C'est dans la Bresse que les érosions ont atteint la plus grande intensité et que les marnes ont été le plus fortement démantelées, parce que c'est là que les cours d'eau étaient le plus nombreux et avaient les débits les plus considérables. On s'explique ainsi la différence signalée plus haut entre l'orographie de cette contrée et celle de la Dombes.

L'âge des anciens cailloutis est encore incertain. Si l'on s'en tenait seulement aux débris d'*Elephas meridionalis*, que l'on y a rencontrés en quelques points, il y aurait lieu de les rapporter à la fin du pliocène. Mais comme ces ossements sont parfois associés à ceux de l'*Elephas antiquus*, qui caractérise l'ère quaternaire, il semble plus rationnel de considérer ces cailloutis comme diluviens, sinon comme une assise établissant la transition entre les deux systèmes.

Les cailloutis de la deuxième catégorie, qui succèdent à ceux que nous venons de décrire, sont d'origine glaciaire. Le grand glacier du Rhône, qui a recouvert toute la Dombes, a laissé dans cette région des moraines, des galets et d'immenses amas de boue glaciaire. Tous ces matériaux, remaniés par les torrents qui s'écoulaient du glacier, ont donné d'une part le limon à *Elephas primigenius*, si étendu dans les environs de Bourg, de l'autre des cailloutis qui se distinguent des précédents par leur faible degré d'altération et la moindre fréquence des galets granitiques. Ces dépôts ne se trouvent pas seulement sur les plateaux de la Dombes ; ils tapissent encore les pentes des collines jusqu'au fond des vallées, ce qui démontre que le sol avait déjà à peu près sa configuration actuelle lors de la grande extension des glaciers, et qu'en dehors des érosions superficielles, il ne s'est guère produit dans cette région que des élargissements de vallées à l'époque glaciaire.

Enfin, les dernières alluvions anciennes des cours d'eau forment des dépôts de rives qui, dans la Bresse des environs de Châlon-sur-Saône et de Tournus, sont masqués par les alluvions récentes et qui, dans la Dombes, constituent des terrasses peu élevées au-dessus du thalweg des vallées. Ces cailloutis ont la même composition que ceux de la deuxième catégorie, et sont du même âge, car on y trouve encore des restes d'*Elephas primigenius*.

886. Plaine de la Crau. — On sait que, dans le midi de la France, l'expression de *crau* sert à désigner une région ou un terrain composé de cailloux. La plaine caillouteuse qui s'étend, comme un Sahara pierreux, entre la chaîne des montagnes des Alpines et la Méditerranée dans le département des Bouches-du-Rhône, et que le chemin de fer de Paris à Marseille traverse dans sa plus grande longueur, est la Crau par excellence à cause de sa vaste étendue.

Le sol de cette contrée est essentiellement composé, jusqu'à une très grande profondeur, de cailloux souvent cimentés en poudingues, de menu gravier, de sable et d'argile, mêlés en proportions variables. Au premier aspect, on serait tenté

de croire que ces matières forment, dans leur ensemble, un tout homogène dont les diverses parties ont été déposées à peu près en même temps ; mais après un examen plus attentif, en s'aidant des excavations que la plaine offre çà et là, on reconnaît qu'elles se divisent en plusieurs formations appartenant à cinq horizons géologiques qui sont, d'après Coquand : 1° le système crétacé ; 2° l'étage falunien ; 3° le système pliocène ; 4° le système diluvien ; 5° les alluvions actuelles. Mais on ne voit apparaître à la surface du sol de la Crau proprement dite que les cailloux des trois derniers niveaux, et ce sont les seuls dont nous nous occuperons ici.

Les cailloux pliocènes sont d'origine marine. Ils sont de petites dimensions, presque exclusivement calcaires et liés entre eux par un ciment sablonneux et calcarifère. Ce dépôt est le plus méridional et par conséquent le plus rapproché de la mer ; il constitue le fond de la plaine de la Crau.

Les cailloux de la période diluvienne, amenés par le Rhône, consistent pour les neuf dixièmes en quartzite blanc des Alpes ; le dernier dixième se compose de fragments de roches alpines très variées, protogine, porphyre, granite, calcaire, etc. Le plus généralement ils sont libres et disséminés dans un sable un peu argileux, dépourvu de calcaire, souvent coloré en rouge par l'oxyde de fer ; quelquefois ils sont agglomérés en poudingue ; la couche qu'ils forment dépasse rarement un mètre d'épaisseur. Ils se distinguent donc très nettement des cailloux pliocènes, qui sont de moindres dimensions ; les sinuosités de la surface de séparation de ces deux dépôts montrent d'ailleurs qu'il y a entre eux indépendance géologique complète.

Quant aux cailloux de la période actuelle, ils ont peu d'importance. Ce sont ceux que charrie actuellement la Durance, et, de même que les dépôts diluviens de cette vallée, ils abondent en fragments de variolite, d'euphotide et de serpentine du Briançonnais.

La terre végétale de la Crau est essentiellement sablo-caillouteuse. Les cailloux qu'elle renferme abondamment nuisent à sa fertilité, et l'aridité naturelle du pays est encore augmentée par le climat et par la violence des vents. Cependant, malgré ces conditions défavorables, une partie de la plaine paraît ver-

doyante et relativement fertile. Cela tient tantôt à une plus grande humidité du sol qui, sur certains points, reçoit les écoulements des terrains environnants, tantôt à une diminution accidentelle dans le nombre des cailloux et à une plus grande épaisseur de la terre végétale, tantôt enfin à la possibilité de jouir de l'irrigation.

887. Camargue. — La Camargue, comprise entre le grand et le petit Rhône, n'est qu'une fraction du delta déposé aux embouchures de ce fleuve. Son sol est un terrain d'alluvion moderne qui consiste en un limon fin, marneux, mêlé d'une certaine proportion de sable. On n'y rencontre aucun caillou ; c'est à peine s'il y a çà et là un peu de menu gravier. Malgré cette heureuse constitution agronomique, les produits agricoles de la Camargue sont peu abondants et peu variés ; cela tient à l'insalubrité du pays, couvert d'un grand nombre d'étangs et de marais qui se dessèchent en partie pendant l'été, et au voisinage de la mer qui a pour conséquence la présence du sel marin dans le sol.

Les terrains imprégnés de sel sont désignés sous le nom de *sansouires*. Ils se trouvent surtout sur les fonds argileux manquant de pente et sont à peu près dépouillés de végétation. Le sel apparaît souvent à leur surface en efflorescences blanches formant une couche mince plus ou moins continue. Ce sont les vents soufflant avec violence sur la Méditerranée, dans les tempêtes, qui l'entraînent mécaniquement et le projettent sur la Camargue.

Les meilleurs terrains sont les terres argilo-sableuses ou *sablons*. Ceux où domine le sable sont mobiles et trop peu hygroscopiques ; on a pu cependant en tirer parti pour la culture de la vigne.

Ces alluvions ont une très grande épaisseur. Au-dessous se trouvent les cailloux de la Crau, à une profondeur d'autant plus grande qu'on se rapproche davantage de la mer. Pour calculer cette profondeur, on peut admettre que la surface supérieure du dépôt caillouteux a une inclinaison moyenne de 1 millim. 1/2 par mètre.

La Camargue a en grand la forme d'une cuvette dont la par-

tie la plus élevée est le bourrelet qui longe les deux bras du fleuve, et la partie la plus basse le lit des étangs salés, dont la profondeur atteint à peine un mètre. Pour combler ces dépressions, il suffirait d'emprunter 750 millions de mètres cubes de troubles au Rhône, qui en charrie 21 millions par an.

§ IV.

HOMME PRÉHISTORIQUE.

888. Découverte de l'homme préhistorique. — Il n'y a pas bien longtemps encore que l'on niait l'existence de l'homme dans la période diluvienne. Dès 1828, on avait à la vérité signalé dans plusieurs grottes des fragments de poteries et d'ossements humains associés à des débris d'animaux disparus, mais les conclusions qu'on pouvait tirer de ces découvertes choquaient par trop les idées reçues et ne trouvaient que des incrédules. Cuvier, l'illustre fondateur de la paléontologie, affirmait hautement qu'il n'y avait pas d'homme fossile.

Boucher de Perthes fit faire un pas important à la question, en 1859, en montrant que les silex taillés répandus dans les alluvions anciennes de la vallée de la Somme, à Abbeville, avaient été travaillés par une main habile qui ne pouvait être que celle de l'homme.

Toutefois une démonstration plus complète fut fournie par l'étude des cavernes, que Lartet reprenait brillamment en 1861. La première et l'une des plus célèbres de celles qu'il fouilla est la grotte d'Aurignac, située dans l'arrondissement de Saint-Gaudens (Haute-Garonne).

C'est le hasard qui révéla l'existence de cette grotte, creusée dans l'escarpement du calcaire nummulitique de la colline de Fajoles, à 14 mètres au-dessus du ruisseau de Rhodes (fig. 542). Un ouvrier, ayant introduit la main dans un trou où se

réfugiaient les lapins poursuivis par les chiens, en retira un os qu'il reconnut pour avoir appartenu à une jambe humaine.

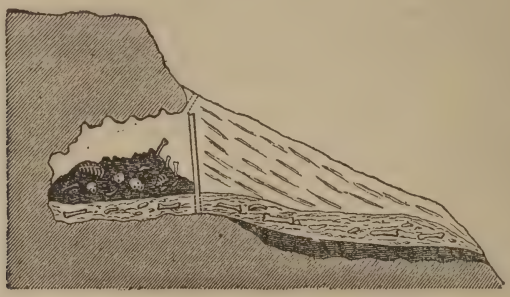


Fig. 542. — Coupe de la caverne d'Aurignac.

Sa curiosité surexcitée, il fouilla à la pioche autour du trou et se trouva bientôt en présence d'une grande dalle verticale de quelques centimètres d'épaisseur, qui fermait l'entrée de la caverne et derrière laquelle étaient entassée une grande quantité d'ossements et de crânes humains. Examen fait, on reconnut qu'il y avait là dix-sept squelettes, dont quelques-uns de femmes et d'enfants.

Cette découverte produisit une grande émotion dans le pays ; elle donna lieu aux suppositions les plus sinistres et, pour les arrêter, le maire du village donna l'ordre d'enterrer les squelettes dans un coin du cimetière où il fut depuis impossible de les retrouver. Puis on boucha la caverne avec des remblais.

Quand Lartet vint dans le pays, il commença par faire enlever ces remblais avec le plus grand soin. Il reconnut que le sol de la caverne était recouvert d'une couche de débris d'animaux et d'instruments en pierre et en os, qui s'étendait au dehors au-dessus d'un lit de cendres et de charbon indiquant les traces d'un ancien foyer. Les instruments étaient des haches en silex, des aiguilles et des hameçons en bois de renne ; les os étaient brûlés, rongés ou cassés intentionnellement, et appartenaient à des espèces éteintes.

A partir de 1861, les recherches se multiplièrent rapidement dans une foule de grottes de tous pays. Les résultats qu'elles donnèrent furent si concluants que personne aujourd'hui n'o-

serait contester la contemporanéité de l'homme et des mammifères disparus de la période diluvienne.

889. Chronologie préhistorique. — L'homme n'a connu les métaux qu'assez tard. C'est avec la pierre qu'il a tout d'abord fabriqué ses armes et ses outils grossiers. On peut ainsi, d'après la nature de la matière employée, diviser les temps préhistoriques en deux âges : l'*âge de la pierre* et l'*âge des métaux*, dont chacun peut se subdiviser à son tour.

Les plus anciens objets en pierre sont toujours taillés à éclats, les plus récents sont, pour la plupart, polis sur leurs surfaces ; d'où deux époques[1] dans l'âge de la pierre ; l'*époque de la pierre taillée*, ou *époque paléolithique*, et l'*époque de la pierre polie* ou *néolithique*. La première époque coïncide avec la période diluvienne ; la seconde, réunie à l'âge des métaux, correspond à la période actuelle.

Pendant toute la durée de l'époque paléolithique, l'humanité ne s'est pas immobilisée ; elle a progressé lentement, comme nous le montrent les perfectionnements apportés à la taille des ustensiles, l'emploi de l'os qui se substitue partiellement à l'usage exclusif de la pierre, les dessins et les sculptures que l'on rencontre dans plusieurs stations préhistoriques, etc. En prenant comme types des cavernes bien caractérisées par leurs restes préhistoriques, M. de Mortillet a divisé cette époque en quatre phases : *chelléenne*, *moustérienne*, *solutréenne* et *magdalénienne*. La première correspond à peu près à la phase de l'*Elephas antiquus ;* la seconde à celle de l'*Elephas primigenius ;* la quatrième à celle du renne. La phase solutréenne est une phase de transition entre la seconde et la quatrième.

L'époque néolithique ne peut encore se subdiviser ; elle ne comprend que la *phase robenhausienne*.

Le premier métal utilisé par l'homme a dû être l'or, qui se trouve naturellement à l'état métallique et cède facilement sous le choc de la pierre. Mais il ne pouvait avoir que des applica-

1. Cette division des âges en époques n'est pas conforme à la terminologie que nous avons adoptée (nº 556). Cependant, nous la conservons ici pour respecter l'usage généralement suivi.

tions restreintes, de même que le cuivre et l'étain qui ont sans doute été découverts peu de temps après. L'alliage de ces deux derniers métaux a donné le bronze, propre à une foule d'usages, qui s'est substitué peu à peu à la pierre polie jusqu'à ce qu'il soit remplacé lui-même par le fer. Les métaux usuels déterminent donc dans l'âge métallique deux divisions : l'*époque du bronze* et l'*époque du fer*.

En résumé, on voit que l'on peut introduire les divisions suivantes dans les temps préhistoriques, en ce qui concerne l'Europe occidentale.

PÉRIODES	AGES	ÉPOQUES	PHASES
Actuelle.	Des métaux.	Du fer.	
		Du bronze.	
	De la pierre.	De la pierre polie ou néolithique.	Robenhausienne.
Diluvienne.		De la pierre taillée ou paléolithique.	Magdalénienne. Solutréenne. Moustérienne. Chelléenne.

Il doit être bien entendu que ces divisions n'ont pas une valeur absolue et il faudrait se garder de les étendre à toute la surface du globe. Les progrès de l'humanité n'ont pas suivi partout la même marche, car tandis que les anciens habitants de nos pays se servaient encore de silex, la civilisation égyptienne brillait déjà d'un vif éclat.

Il y a plus et l'on peut dire que certaines peuplades continuent à vivre de nos jours en pleine préhistoire. Les Tasma-

niens, les Australiens et nombre de tribus américaines n'ont pas dépassé l'époque de la pierre taillée. Les Néo-Calédoniens, les Polynésiens, plus avancés, ont atteint l'époque de la pierre polie. Les Esquimaux, qui n'ont pas de poteries, font bouillir de l'eau en y jetant des cailloux chauffés, et se servent encore d'instruments en os.

890. Phase chelléenne. — Le type de la phase chelléenne a été pris par M. de Mortillet à Chelles, dans la vallée de la Marne, à une vingtaine de kilomètres de Paris, où l'on trouve l'*Elephas antiquus* associé à l'instrument caractéristique des débuts de l'ère quaternaire. Cette phase est également bien représentée au plateau de Saint-Acheul, qui domine Amiens, mais d'une manière moins nette ; car il y a là des influences de transition.

L'industrie était des plus rudimentaires. Elle ne comporte qu'un seul instrument en pierre qui suffisait à tout ; on s'en servait comme de hache, de couperet, de couteau, de ciseau, d'arme, etc. Cet instrument est de forme triangulaire ou amygdaloïde (fig. 543), taillé à éclats sur les deux faces par retouches successives. Les deux faces sont généralement semblables ; cependant l'une d'elles est quelquefois beaucoup plus bombée que l'autre. Le sommet est acéré, la base arquée, le pourtour tranchant ou crénelé. Il existe de ces outils qui ont près de 30 centimètres de longueur.

Fig. 543. — Instrument chelléen.

Sur beaucoup d'échantillons, même des mieux travaillés, on remarque vers la base une partie restée brute ou simplement dégrossie, formant une sorte de talon destiné à être tenu dans la main.

La roche la plus employée était le silex, surtout celui de la

craie. On s'est aussi servi de quartzite, notamment en Bretagne, dans les Pyrénées, en Afrique et en Amérique ; mais cette matière ne valait pas le silex, car elle se laisse moins bien travailler et donne des tranchants moins aigus.

L'authenticité des outils chelléens, qui était contestée à l'origine, est prouvée par les incrustations calcaires ou ferrugineuses qui les recouvrent, par les dendrites qui se sont formées sur leurs faces après un long enfouissement dans le sol, par une altération superficielle qui pénètre parfois jusqu'à 1 ou 2 millimètres à l'intérieur comme une sorte de patine. On les rencontre dans des alluvions caillouteuses qui permettent de fixer leur âge d'une manière certaine, dans des argiles de la même époque, ou épars à la surface du sol. Ils abondent dans presque toutes les grandes vallées.

L'homme diluvien n'enterrait pas ses morts ; aussi il n'a laissé que de très rares débris. La race chelléenne ne nous est connue que par des fragments de crâne et quelques autres ossements trouvés dans le lœss de Canstadt, près de Stuttgard, et d'Eguisheim, près de Colmar ; dans la grotte de Néanderthal, aux environs de Düsseldorf, etc. Son indice céphalique est de 72, ce qui la place dans les dolichocéphales [1]. Le crâne, très épais, a des arcades sourcilières énormes et presque bestiales ; le front, bas et étroit, a un aspect fuyant ; le menton est aussi extrêmement fuyant. Dans l'une des mâchoires étudiées, on a constaté l'absence complète de l'apophyse géni [2] ; d'où l'on a conclu, peut-être un peu prématurément, que cette race n'avait pas l'usage de la parole et qu'elle ne pouvait exprimer ses sentiments que par des sons inarticulés comme les animaux.

Cet homme si mal doué habitait de préférence le bord des

1. Les races humaines se divisent en trois catégories : les *dolichocéphales* (δολιχος, allongé), chez lesquels l'*indice céphalique* (c'est-à-dire la dimension du diamètre transversal du crâne, celle du diamètre longitudinal étant de 100) est inférieur à 72 ; les *orthocéphales* (ορθος, normal), chez lesquels cet indice est compris entre 72 et 81, et les *brachycéphales* (βραχυς, court), pour lesquels il dépasse 81.

2. L'apophyse *géni* est une saillie de la mâchoire inférieure qui donne attache au muscle génio-glosse allant à la base de la langue.

cours d'eau, et c'est pour cela qu'on retrouve surtout les débris de son industrie dans les alluvions anciennes des vallées; il ne paraît pas avoir recherché les cavernes, qui servaient alors pour la plupart de repaires aux animaux féroces. Il vivait probablement presque nu, car son outil, bon pour travailler le bois, ne semble guère propre à préparer des vêtements, même formés de peaux. C'est à ces vagues notions que se réduit à peu près tout ce que nous savons des mœurs de l'homme chelléen.

891. Phase moustérienne. — La phase moustérienne correspond à l'époque à laquelle les glaciers ont pris leur grande extension. Elle tire son nom de la station du Moustier, située dans la commune de Peyzac (Dordogne).

L'outillage devient plus complexe. Des outils spéciaux sont fabriqués pour les principaux besoins et on voit apparaître successivement les râcloirs, les pointes, les scies, les lames. De plus, tandis que l'instrument chelléen était retouché des deux côtés, les pièces moustériennes ne le sont que sur une seule face ; l'autre reste unie, ne présentant que le plan d'éclat (fig. 544).

Plan d'éclatement. Face retouchée.

Fig. 544. — Pointe moustérienne.

Malgré cette différence importante, l'industrie moustérienne découle cependant de celle qui l'a précédée. Ainsi que le fait remarquer M. de Mortillet, l'outil chelléen n'est autre chose

que le caillou naturel perfectionné par la taille sur ses deux faces. En le travaillant, on faisait partir des éclats qui présentaient d'un côté le plan d'éclatement uni et qui étaient plus ou moins irréguliers sur le dos. Ce sont ces éclats qui, repris et améliorés, ont servi à la fabrication des instruments moustériens. Ce progrès, qui nous paraît bien simple, ne s'est pourtant réalisé que très lentement.

Le silex est encore la matière première la plus estimée. Pas plus que précédemment, l'homme moustérien n'emmanchait ses outils.

La population humaine de cette phase n'est guère supérieure à celle du chelléen et elle paraît se rapporter, pour la majeure partie, au même type, si l'on en juge par les crânes fort peu nombreux que l'on a trouvés, notamment à l'Olmo près d'Arezzo en Toscane et à Marcilly-sur-Eure.

Le climat étant devenu plus froid, l'homme commence à se retirer dans les grottes, dont il dispute la possession aux animaux féroces. Il se vêtit de peaux de bêtes, dont il enlève les parties graisseuses et qu'il assouplit avec ses râcloirs, pour les taillader et les entailler ensuite à l'aide de pointes à sommet aigu et à bords tranchants.

892. Phase solutréenne. — La phase solutréenne est très bien représentée dans les cavernes de Solutré (Saône-et-Loire) et de Laugerie-Haute, commune de Tayac (Dordogne).

C'est dans cette phase que la taille de la pierre atteint son apogée. Les pièces solutréennes, fabriquées encore pour la plupart avec le silex, se distinguent des précédentes par des formes plus dégagées et plus légères ; plusieurs d'entre elles sont travaillées avec un soin et une régularité remarquables et attestent une grande habileté.

Un des grands progrès réalisés à cette époque a été le remplacement de l'épais râcloir moustérien par un grattoir consistant en une lame mince, dont le sommet est régulièrement retouché de manière à décrire un arc de cercle à bord tranchant, quelquefois pointu à l'autre extrémité. A en juger par les nombreux échantillons qui nous ont été légués, cet instrument devait jouer un rôle des plus importants.

Après les grattoirs, les principaux outils sont les scies et les perçoirs. Les premiers sont des lames retouchées diversement sur le tranchant, ayant parfois la forme d'un croissant. Quant aux perçoirs, ce sont des lames taillées en pointes plus ou moins fines et aiguës.

Mais ce qui caractérise surtout l'industrie solutréenne, c'est la *pointe en feuille de laurier* (fig. 545), dont le nom indique bien la forme générale, taillée soigneusement sur les deux faces ainsi qu'aux deux extrémités et sur les côtés, ayant parfois plus de 35 centimètres de longueur, et la *pointe à cran*, taillée seulement sur une face et présentant vers le milieu de sa longueur un cran qui réduisait sa largeur et permettait de l'emmancher dans une flèche dont elle constituait la pointe. Quant aux pointes en feuille de laurier, elles servaient de poignard ou d'armature de javelot ; dans ce dernier cas, l'une des extrémités présentait souvent une sorte de pédoncule vaguement triangulaire.

Fig. 545. — Pointe en feuille de laurier.

On ne possède aucun document ostéologique sur l'homme solutréen. Les squelettes que l'on avait d'abord rapportés à ce type, comme ceux des grottes des Baoussé-Roussés près de Menton, ont été reconnus plus récents.

La station de Solutré, située sur un petit plateau que domine un rocher servant d'abri contre certains vents, est remarquable par une accumulation prodigieuse d'ossements de chevaux formant une véritable brèche osseuse. On avait pensé d'abord que ces restes étaient le résultat de l'abatage régulier d'animaux domestiques provenant de troupeaux ; mais le fait paraît très contestable si l'on observe que tous ces chevaux avaient de quatre à sept ans et que l'homme n'avait pas alors le chien, l'animal domesticable par excellence, pour les garder.

Le cheval de la Camargue, qui vit toute l'année par bandes

dans un état presque complet de liberté, n'est pas d'origine arabe, comme on l'a dit souvent ; il paraît être le descendant de celui de Solutré.

893. Phase magdalénienne. — Avec la phase magdalénienne, dont le meilleur type se trouve dans la caverne de la Madeleine située au pied d'un escarpement de calcaire presque vertical, à 6 mètres au-dessus de la Vézère, dans l'arrondissement de Sarlat (Dordogne), nous constatons une importante révolution industrielle, qui se dessinait déjà du reste à la fin du solutréen.

La matière première servant à la confection des armes et des outils n'est plus exclusivement la pierre. On utilise les parties osseuses des animaux, les os, la corne, l'ivoire, et c'est cet emploi qui caractérise surtout la phase qui nous occupe.

Fig. 546. Grattoir magdalénien.

Le travail de la pierre, qui était arrivé à un assez haut degré de perfection dans la phase précédente, tombe en décadence, car on ne se sert plus de cette matière que pour la confection des objets où elle est indispensable, les couteaux, les grattoirs (fig. 546), les pointes vives, tous instruments fins et déliés, mais d'une exécution généralement moins soignée que les objets solutréens.

Parmi les objets en os trouvés dans les stations magdaléniennes sont des aiguilles, des pointes de sagaie, des harpons barbelés (fig. 547), généralement fabriqués avec la corne de renne ; de grands fragments de cette même corne percés d'un ou de plusieurs larges trous à leur extrémité la plus forte, et qu'on considère comme les insignes des chefs ou bâtons de commandement, sans preuves suffisantes toutefois ; des os à encoches, servant peut-être de marques comme les bois employés par les boulangers pour compter les pains livrés.

Le goût de la parure et de l'ornementation se manifeste. C'est au moins ce qu'on peut conclure de la découverte de petits mortiers servant à broyer la sanguine, de coquilles et de dents trouées, sans doute pour servir de pendeloques, etc.

De véritables instincts artistiques se révèlent. Les bâtons de commandement sont souvent couverts de sculptures ; des plaques de schiste ou d'ivoire nous montrent des dessins qui représentent surtout des animaux, dont les caractères sont indiqués avec une précision remarquable (fig. 548). Quelques-unes de ces pièces sont réellement de petits chefs-d'œuvre. L'homme moustérien savait déjà dessiner, mais ses œuvres sont beaucoup moins soignées.

Fig. 547. Harpon en os.

La phase magdalénienne est celle qui a fourni le plus grand nombre de cavernes habitées. Celles-ci sont disséminées un peu partout, mais elles abondent surtout en France dans le bassin de la Garonne, et notamment dans les Pyrénées.

A Arcy-sur-Cure (Yonne), on a trouvé un crâne, et à Laugerie-Basse (Dordogne) un squelette assez complet ; ce sont les deux seules pièces certaines de cette époque. Aurignac était aussi une station magdalénienne, comme en témoignent les restes de l'industrie ; mais cette grotte a servi postérieurement de sépulture et les squelettes qu'elle renfermait sont plus récents.

Fig. 548. — Gravure sur bois de renne.

L'homme magdalénien ne vivait, comme ses prédécesseurs, que de chasse et de pêche. Plusieurs de ses outils, fabriqués

avec des roches qui n'existent pas dans la région où on les a rencontrés, montrent qu'il était nomade.

894. Époque de la pierre polie. — Tandis que les quatre phases précédentes passent régulièrement de l'une à l'autre par voie de développement progressif, on constate entre le magdalénien et l'époque de la pierre polie un changement considérable. Les populations deviennent plus sédentaires, les animaux domestiques apparaissent, l'agriculture se développe, on commence à fabriquer de la poterie ; les morts, au lieu d'être abandonnés, sont ensevelis; l'idée religieuse prend naissance ; mais, ce qu'il y a de singulier, tout sentiment artistique semble s'éteindre.

L'un des traits caractéristiques de cette époque est l'existence d'habitations lacustres ou *palafittes*[1], analogues à celles que, d'après Dumont d'Urville, construisent certains sauvages des côtes de la Nouvelle-Guinée. C'est en 1854, par suite de l'abaissement exceptionnel des eaux du lac de Zurich, qu'on découvrit pour la première fois, dans les fonds vaseux près des bords, une quantité de pilotis (fig. 549), destinés à soute-

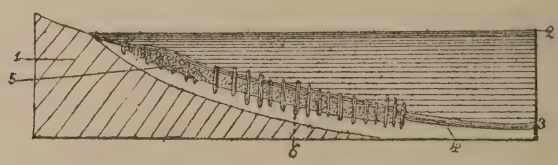


Fig. 549. — Coupe d'une construction sur pilotis dans les lacs. — 1, fond rocheux; 2, lac; 3, dernière couche de boue; 4, argile sableuse; 5, station de l'âge de la pierre; 6, station de l'époque du bronze.

nir des plateformes sur lesquelles s'élevaient des maisons grossières. Depuis on a trouvé tout autour des Alpes un grand nombre de ces stations.

D'autres restes intéressants de cette époque sont les *kjœkkenmœddings*[2], monticules de plus de 300 mètres de longueur, 50 à 60 mètres de largeur et 3 à 4 mètres de hauteur, que l'on

1. De l'italien *palafitti*, pilotis.
2. En danois, *rebuts de cuisine*.

observe sur les côtes du Danemark et qui sont formés de débris de coquilles comestibles, d'os d'animaux et d'arêtes de poissons, avec des spécimens de l'industrie de l'homme. Ces monticules ne sont pas d'ailleurs particuliers au Danemark; ils se montrent aussi sur les côtes de Scanie, sur celles de la Manche à Wissant et Saint-Valery, sur les côtes du Portugal, etc.

La plupart des monuments mégalithiques, qui sont si nombreux sur le territoire français, notamment en Bretagne, remontent à l'époque néolithique. Tels sont les *dolmens* (fig. 550), formés de dalles fichées en terre et soutenant une grande table de pierre, qui servaient probablement de chambres sépulcrales; les *tumulus* (fig. 551), mottes de terre qui recouvrent souvent un dolmen; les *menhirs*, grandes pierres enfoncées dans le sol et dressées

Fig. 550. — Dolmen.

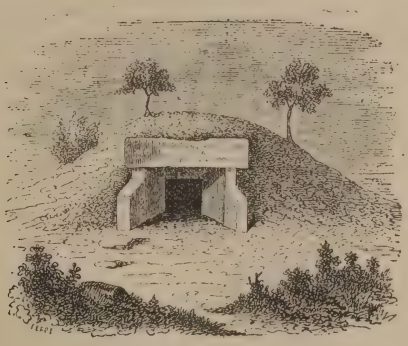


Fig. 551. — Tumulus recouvrant un dolmen.

verticalement; les *cromlechs*, formés par des menhirs disposés régulièrement.

Le silex est encore la matière que l'on préférait à toute autre pour la confection des armes et des outils; les éclats

étaient détachés de sortes de noyaux ou *nucleus* (fig. 552), auxquels on a donné le nom de *livres de beurre* à cause de leur forme particulière, et servaient à fabriquer des scies, des grattoirs, des perçoirs, des pointes de flèches finement dentées (fig. 553), des poignards, etc.

Fig. 552.
Nucleus.

Fig. 553.
Pointe de flèche.

Fig. 554.
Hache polie.

Un certain nombre d'objets polis, notamment des haches (fig. 554) et des ciseaux, destinés souvent à être emmanchés, apparaissent pour la première fois. Mais le polissage, que l'on considère comme la caractéristique de l'époque néolithique, n'est pas aussi répandu qu'on pourrait le croire, et les instruments en pierre taillée sont encore en majorité. L'emploi des os et du bois était plus développé que dans la phase magdalénienne.

895. Age des métaux. — Pendant longtemps on a usé simultanément de la pierre et du bronze, et ce n'est que lentement que ce dernier a conquis la prépondérance. Lors de l'invasion normande en Angleterre, certains Bretons se servaient encore d'armes en pierre.

Les premiers objets en bronze étaient calqués sur la forme des instruments de pierre polie. Puis peu à peu, l'ouvrier, s'affranchissant de la tradition, donne au métal les formes les plus variées et en fait des épées, des lances, des flèches, des boutons, des agrafes, des épingles, des haches disposées pour

un emmanchement dans le sens de la longueur (fig. 555), que l'on retrouve dans les stations lacustres, dans les anciennes sépultures, dans les tourbières, dans les terramares de l'Italie, etc.

Fig. 555.
Hache de bronze.

Il serait peut-être plus conforme à la vérité d'enlever aux temps préhistoriques l'emploi du bronze et du fer. Les Chinois et les Égyptiens paraissent avoir connu les métaux les premiers et ils les ont sans doute transmis à l'Europe vers le Xe siècle avant notre ère. Si le bronze a généralement précédé le fer, cela peut tenir, suivant la remarque de M. A. Bertrand, non à ce qu'on ignorait ce dernier métal, mais à ce qu'on attribuait au bronze un caractère sacré qui explique la préférence qu'on lui témoignait. Il n'est même pas certain qu'il y ait eu une époque du bronze en Gaule, et le fer semble y avoir succédé directement à la pierre polie.

896. Homme tertiaire. — Dans quelques couches que l'on rapporte au groupe tertiaire, on a cru découvrir des vestiges du travail humain. Tels sont les éclats de silex retirés du calcaire de Beauce de Thenay (Loir-et-Cher) par l'abbé Bourgeois, les os incisés des falaises miocènes de Pouancé (Maine-et-Loire), les os cassés de la colline de Sansan (Gers), les silex taillés du miocène de l'embouchure du Tage, etc.

Mais tous ces faits ne sont pas encore bien établis. Les empreintes et les cassures des os peuvent être dues à la dent des animaux ou à un frottement contre des pierres dures. Quant aux silex, ils sont loin d'être comparables à ceux du quaternaire, et il faut beaucoup de bonne volonté pour y reconnaître une taille intentionnelle. On sait d'ailleurs que dans certaines circonstances les silex et autres roches dures sont susceptibles d'éclater spontanément en lames minces et tranchantes, ce qui montre avec quelle réserve on doit accueillir l'authenticité des anciens débris attribués à l'industrie humaine. Tant qu'on n'aura pas trouvé d'ossements humains dans les dépôts tertiaires, il ne sera donc pas permis de faire

remonter l'apparition de l'homme au-delà de l'ère quaternaire.

Nous devons dire toutefois que quelques paléontologistes éminents admettent que les silex en question ont été réellement travaillés. La main qui les a taillés serait celle d'un singe anthropomorphe, le *Dryopithecus*, dont les débris fossiles ont été découverts à Saint-Gaudens. Au dire de Darwin, le singe est en effet capable d'utiliser jusqu'à un certain point les outils naturels.

Si l'homme ne remonte pas jusqu'à l'ère tertiaire, il n'en a pas moins une grande ancienneté, qui, d'après des supputations plus ou moins plausibles, se chiffrerait par deux ou trois cent mille ans. Mais où et comment les races humaines ont-elles pris naissance ? Y a-t-il eu un ou plusieurs centres d'irradiation ? Ce sont là des questions passionnantes, qui sont plutôt du domaine de l'anthropologie que de celui de la géologie.

TABLEAU RÉSUMÉ

DES FORMATIONS GÉOLOGIQUES

Groupes	Systèmes	PRINCIPAUX CARACTÈRES — Physiques	PRINCIPAUX CARACTÈRES — Organiques	Régions-types	Etages	Synonymes	Fossiles caractéristiques
PRIMITIF		Homogénéité lithologique. Roches à la fois cristallines et stratiformes. Première ébauche des continents.	La vie n'existe pas encore.	Plateau Central. Armorique. Scandinavie. Amérique du Nord.	GNEISS MICASCHISTES	Sol primordial. Terrains azoïques. Terrains cristallophylliens.	
	CAMBRIEN	Uniformité du climat. Formations presque exclusivement schisteuses. Instabilité des continents. Nombreuses dislocations.	Apparition de la vie vers le milieu de la période. Faune primordiale de Barrande. Premiers trilobites. Brachiopodes. Algues.—Traces de vers.	Ardennes. Bretagne. Bohême. Scandinavie. Pays de Galles.	ARDENNAIS SCANDINAVIEN	Schistes cristallins. Schistes micacés. Silurien inférieur Terrain de transition inférieur	*Odhamia.* *Arenicolites.* *Nereites cambrensis.* *Dictyonema sociale.* *Paradoxides bohemicus.* *Olenus micrurus.* *Lingula Davisii.*
	SILURIEN	Plissement du massif armoricain et de l'Ardenne. Eruptions de granites, de diorites et de diabases. Métamorphisme régional.	Faunes deuxième et troisième. Apogée des trilobites. Céphalopodes. Graptolithes. Premiers poissons. Premières plantes terrestres.	Armorique. Pyrénées. Bohême. Scandinavie. Pays de Galles.	ARMORICAIN BOHÉMIEN	Terrain de transition moyen. (Faune deuxième). Terrain de transition moyen. (Faune troisième).	*Bilobites.* *Calymene Tristani.* *Homalonotus Vicaryi.* *Trinucleus ornatus.* *Calymene Blumenbachi.* *Cardiola interrupta.* *Orthoceras bohemicum.* *Pentamerus Knighti.*

PRIMAIRE OU PALÉOZOIQUE	*DÉVONIEN*	Les calcaires deviennent plus abondants et alternent avec les schistes. Dislocations moins fréquentes. Installation des continents. Continuation des éruptions de roches granitoïdes. Granulites.	Décadence des trilobites Spirifères. Calcéoles. Polypiers. Epanouissement des poissons ganoïdes. Développement de la végétation terrestre.	Ardennes. Montagne Noire. Pyrénées. Iles Britanniques. Russie.	RHÉNAN	Terrain de transition supérieur Vieux grès rouge. Old red sandstone.	*Pleurodictyum problematicum.*
					EIFÉLIEN		*Phacops latifrons.* *Spirifer speciosus.* *Calceola sandalina.* *Stringocephalus Burtini.* *Murchisonia angulata.*
					FAMENNIEN		*Goniatites retrorsus.* *Spirifer Verneuilli.* *Cardium palmatum.* *Cyathophyllum hexagonum.*
	CARBONIFÈRE	Appauvrissement de l'atmosphère en acide carbonique. Grande mobilité du sol. Ridement du Hainaut. Eruptions porphyriques, mélaphyriques et trappéennes.	Exubérance de la végétation. Développement des vertébrés à respiration aérienne. Uniformité de la faune marine. Disparition des trilobites. Prédominance des productus. Développement des encrines et des polypiers.	Belgique. Bas-Boulonnais. Roannais. Basse-Loire. Vosges.	ANTHRACIFÈRE	Calcaire carbonifère. Moustain limestone. Bergkalk.	*Euomphalus pentangulatus.* *Bellerophon costatus.* *Athyris lamellosa.* *Spirifer glaber.* *Productus Cora.* *P. giganteus.* *Lithostrotion basaltiforme.*
				Nord et Pas-de-Cal. Plateau Central. Saint-Etienne.	HOUILLER	Millstone grit. Coal measures.	*Sigillaria.* *Sphenophyllum.* *Calamites.* *Annularia.* *Cordaites.*
				Mansfeld. Stassfurt. Autunois. Russie.	PERMIEN	Pénéen. Nouveau grès rouge. New red sandstone.	*Spirifer undulatus.* *Productus horridus.* *Walchia.*

Groupes	Systèmes	PRINCIPAUX CARACTÈRES		Régions-types	Etages	Synonymes	Fossiles caractéristiques
		Physiques	Organiques				
MÉSOZOIQUE	*TRIAS*	Nombreuses émanations. Continuation des éruptions porphyriques et trappéennes. Roches à couleurs bariolées et à nuances vives.	Faune de transition : association de formes paléozoïques et mésozoïques. Labyrinthodon. Nothosaurus. Apparition des ammonites et des huîtres.	Vosges. Alpes. Pyrénées. Souabe et Franconie.	VOSGIEN	Grès des Vosges. Grès bigarré.	Traces de *Cheirotherium*. *Voltzia heterophylla*.
				Lorraine. Var. Souabe et Franconie.	CONCHYLIEN	Calcaire coquillier. Muschelkalk.	*Ceratites nodosus*. *Terebratula vulgaris*. *Gervillia socialis*. *Myophoria vulgaris*. *Encrinus liliiformis*.
				Lorraine. Jura. Pyrénées. Tyrol.	SALIFÉRIEN	Marnes irisées. Keuper. Red marl.	*Estheria minuta*. *Pterophyllum Pleiningeri*.
	LIAS			Lorraine. Ardennes. Bourgogne. Normandie. Mont d'Or lyonnais. Bordure du Plateau Central. Provence.	RHÉTIEN	Infralias. Grès infraliasique. Lias blanc.	*Avicula contorta*.
					HETTANGIEN		*Ammonites planorbis*. *A. angulatus*. *Cardinia concinna*. *Pecten valoniensis*.
					SINÉMURIEN	Lias inférieur. Lias bleu. Calcaire à gryphée arquée.	*Gryphæa arcuata*. *Ammonites bisulcatus*. *Spiriferina Walcoti*. *Belemnites acutus*.
					LIASIEN	Lias moyen. Marnes médioliasiques.	*Gryphæa cymbium*. *Ammonites margaritatus*. *Belemnites paxillosus*. *B. clavatus*. *Terebratula numismalis*. *Plicatula spinosa*. *Pecten æquivalvis*.

SECONDAIRE			Premiers mammifères sous la forme de marsupiaux.			Lias supérieur.	*Ammonites bifrons.*
		Période de repos relatif.	Grand développement des sauriens.		TOARCIEN	Marnes supraliasiques.	*A. opalinus.*
		Interruption des éruptions.	Apogée des ammonites.			Marnes à posidonies.	*Belemnites digitalis.*
		Couches peu inclinées sauf dans les massifs montagneux.	Apparition des bélemnites.				*Posidonia Bronnii.*
		Rareté des poudingues et des grès.	Flore stable et peu riche.				*Trigonia navis.*
			Cycadées.	Bourgogne. Lorraine. Ardennes. Normandie. Jura. Poitou. Aveyron.	BAJOCIEN	Inferior oolit. Calcaire à polypiers et à entroques.	*Ammonites Humphresianus.* *Belemnites giganteus.* *Pleurotomaria conoïdea.* *Trigonia costata.* *Lima proboscidea.* *Terebratula globata.*
					BATHONIEN	Fuller's earth. Grande oolithe. Bradford-clay. Forest-marble. Cornbrash.	*Ostrea acuminata.* *Clypeus Ploti.* *Terebratula cardium.* *T. digona.* *Rhynchonella decorata.* *Avicula echinata.*
	OOLITHE			Meuse. Ardennes. Normandie. Jura. Poitou.	OXFORDIEN	Kelloway-rock. Oxford-clay.	*Ammonites macrocephalus.* *A. Lamberti.* *A. cordatus.* *Ostrea Marshii.* *Gryphæa dilatata.* *Pholadomya exaltata.* *Trigonia clavellata.* *Terebratula diphya.*
					CORALLIEN	Rauracien. Coral-rag. Calcaire à nérinées.	*Diceras arietina.* *Hemicidaris crenularis.* *Cidaris florigemma.* *Glypticus hieroglyphicus.* *Nerinea tuberculosa.*
				Meuse. Haute-Marne. Jura. Dauphiné. Languedoc. Purbeck.	KIMMÉRIDGIEN	Kimmeridge-clay Calcaire à astartes. Argile à virgules.	*Exogyra virgula.* *Ostrea deltoïdea.* *Astarte minima.* *Pterocera Oceani.*
					PORTLANDIEN	Calcaire du Barrois.	*Ammonites gigas.* *Trigonia gibbosa.* *T. Pellati.*

Groupe	Systèmes	PRINCIPAUX CARACTÈRES — Physiques	PRINCIPAUX CARACTÈRES — Organiques	Régions-types	Etages	Synonymes	Fossiles caractéristiques
SECONDAIRE OU MÉSOZOIQUE (*suite*).	*CRÉTACÉ*	Période de calme relatif. Dans le bassin de Paris, la partie inférieure est essentiellement argileuse, et la partie supérieure calcaire. Abondance du phosphate de chaux. Apparition des zones climatériques.	Grand développement des foraminifères et des oursins. Rudistes. Fin des bélemnites et des ammonites. Apparition, vers le milieu de la période, des dicotylédones, des angiospermes et des monocotylédones.	Meuse, Haute-Marne. Flandre. Provence. Dauphiné. Gard. Weadl.	NÉOCOMIEN	Grès vert infér. Weald-Clay. Lower green sand	*Crioceras Duvali.* *Belemnites dilatatus.* *Exogyra subplicata.* *Ostrea Couloni.* *Lima elegans.* *Requienia ammonia.* *Spatangus retusus.*
				Meuse. Provence.	APTIEN	Argile à plicatules.	*Ostrea aquila.* *Plicatula placunea.* *Ancyloceras Matheroni.*
				Ardennes, Meuse. Boulonnais. Dauphiné.	ALBIEN	Grès vert supér. Upper green sand Sables verts. Gault. Gaize de l'Argonne.	*Ammonites mamillaris.* *A. splendens.* *Turrilites catenatus.* *Ptychoceras gaultinus.* *Hamites attenuatus.* *Nucula pectinata.* *Inoceramus sulcatus.*
				Champagne. Maine. Perche. Saxe.	CÉNOMANIEN	Craie glauconieuse. Craie de Rouen. Tourtia.	*Ammonites rotomagensis.* *Turrilites costatus.* *Scaphites æqualis.* *Belemnites plenus.* *Pecten asper.* *Janira quinquecostata.* *Ostrea columba.* *O. carinata.*
				Champagne. Touraine. Charente.	TURONIEN	Craie marneuse. Craie tuffeau. Craie de Touraine. Grès d'Uchaux.	*Inoceramus labiatus.* *Terebratulina gracilis.* *Rhynchonella Cuvieri.* *Caprina adversa.* *Hippurites organisans.* *Radiolites lumbricalis.*
				Champagne. Normandie. Picardie.	SÉNONIEN	Craie blanche.	*Belemnites mucronatus.* *Sphærulites angeïodes.* *Crania parisiensis.* *Spondylus spinosus.* *Ostrea vesicularis.* *Micraster coranguinum.* *M. cortestudinarium.* *Ananchytes ovata.* *Cyclolites elliptícus.*

				Dordogne. Vallée de l'Arc. Belgique.	DANIEN	Craie de Danemark. Craie de Maestricht.	*Nautilus danicus.* *Baculites anceps.* *Lima Carolina.*
TERTIAIRE OU NÉOZOIQUE	*ÉOCÈNE*	Réveil de l'activité interne du globe. — Éruptions de serpentines, euphotides, liparites, etc. — Sources sulfureuses et ferrugineuses. Soulèvement des Pyrénées. Oscillations fréquentes du sol. Alternances de formations marines et lacustres.	Apparition des mammifères proprement dits Pachydermes. Abondance des nummulites. 3 à 4 p. 100 des mollusques actuels.	Bassin de Paris. Provence. Bassin de Londres.	SUESSONIEN	Sables de Bracheux. Argile plastique. Sables nummulitiques ou du Soissonnais.	*Physa gigantea.* *Melania inquinata.* *Cyrena cuneiformis.* *Nerita conoïdea.* *Nummulites planulata.*
				Bassin de Paris. Pyrénées. Alpes. Provence. Bassin de la Garonne. Bassin de Londres.	PARISIEN	Calcaire grossier Sables de Beauchamp. Calcaire lacustre de Saint-Ouen. Assise du gypse.	*Cerithium giganteum.* *C. lapidum.* *C. mutabile.* *Turritella imbricataria.* *Terebellum fusiforme.* *Planorbis rotundatus.* *Limnæa longiscata.* *Cyclostoma mumia.* *Cardita planicosta.* *Cardium porulosum.* *Turbinolia elliptica.* *Nummulites lævigata.*
	MIOCÈNE	Mouvements violents du sol. Soulèvement des Alpes, des Cordillères, de l'Himalaya. Éruptions de trachytes et de basaltes.	Ruminants. Apparition des proboscidiens. 17 à 20 p. 100 des mollusques actuels. Richesse de la végétation (mélange de formes diverses).	Bassin de Paris. Aquitaine. Limagne. Provence. Languedoc.	TONGRIEN	Glaise verte. Calcaire de la Brie Sables de Fontainebleau. Calcaire de la Beauce. Sables de l'Orléanais et de la Sologne.	*Cerithium plicatum.* *Potamides Lamarcki.* *Natica crassatina.* *Ostrea cyathula.* *Pectunculus obovatus.*
				Touraine. Anjou. Aquitaine. Suisse. Vallée du Rhône.	FALUNIEN	Faluns et mollasses.	*Voluta Lamberti.* *Helix turonensis.* *Lucina columbella.* *Cardita Jouanneti.* *Lima squamosa.* *Congeria subglobosa.*
	PLIOCÈNE	Formation définitive du relief de l'Europe. Continuation des éruptions trachytiques et basaltiques.	Apog. des proboscidiens 40 à 50 p. 100 des mollusques actuels. Flore voisine de la flore actuelle.	Apennins. Sicile. Angleterre. Bassin de la Saône. Isthme de Corinthe.	SUBAPENNIN	Tertiaire supér. Crag.	*Fusus contrarius.* *Cyprina islandica.* *Lingula Dumortieri.*

Groupes	Systèmes	Synonymes	PRINCIPAUX CARACTÈRES		Epoques	Phases
			Physiques	Organiques		
QUARTENAIRE	*DILUVIEN*	Diluvium. Graviers d'alluvion. Lœss. Limon. Alluvions anciennes.	Pluies diluviennes. Développement des cours d'eau. Extension des glaciers. Adoucissement de la température. Volcans d'Auvergne.	Apparition de l'homme. Extinction des grands probiscidiens. Emigration de divers animaux. Cavernes à ossements.	Paléolithique ou de la pierre taillée.	Chelléenne. (*Elephas antiquus*). Moustérienne. (*Elephas primigenius*). Solutréenne. (Transition) Magdalénienne. (Renne).
	ACTUEL	Alluvions modernes.	Conditions actuelles.	Habitations lacustres. Dolmens, menhirs, etc. Faune et flore actuelles.	Néolithique ou de la pierre polie. Du bronze. Du fer.	Robenhausienne.

OUVRAGES A CONSULTER

I. MINÉRALOGIE ET PÉTROGRAPHIE

BEUDANT. — Traité de minéralogie (Paris 1830 ; 2 vol. in-8).

DUFRÉNOY. — Traité de minéralogie (Paris, 1856-1858 ; texte, 4 vol. in-8 ; atlas, 1 vol. in-8).

DESCLOIZEAUX. — Manuel de minéralogie (Paris, 1862-1874 ; in-8 ; tome I et premier fascicule du tome II).

Cet ouvrage, destiné à faire connaître avec détails l'état actuel de la minéralogie descriptive, n'est pas encore terminé.

BURAT. — Minéralogie appliquée. Description des minéraux et des roches employés dans les industries métallurgiques et manufacturières, dans les constructions et dans l'ornement (Paris, 1864 ; 1 vol. in-8).

MALLARD. — Traité de cristallographie géométrique et physique. Cours professé à l'Ecole des mines (Paris, 1879 ; tome I, in-8, et atlas).

FOUQUÉ ET MICHEL LÉVY. — Minéralogie micrographique (Paris, 1879 ; 2 vol. in 8, avec atlas).

CORDIER ET D'ORBIGNY. — Description des roches composant l'écorce terrestre et des terrains cristallins constituant le sol primitif, avec indication des diverses applications des roches aux arts et à l'industrie (Paris, 1868 ; 1 vol. in-8).

DELESSE. — Matériaux de construction de l'Exposition universelle de 1855 (Paris, 1856 ; 1 vol. in-8).

DELESSE. — Lithologie du fond des mers (Paris, 1866 ; 2 vol. in-8 avec cartes).

MICHELOT ET L. DURAND-CLAYE. — Catalogue des échantillons de matériaux de construction réunis par les soins du Ministère des Travaux publics pour l'Exposition universelle de 1878 (Paris, 1878 ; 1 vol. in-8).

Ces échantillons, au nombre de plus de mille, sont placés actuellement dans les galeries de l'Ecole des Ponts et Chaussées. La désignation de cha

cun d'eux sur le catalogue est suivie d'une courte notice dans laquelle on trouve des renseignements sur son niveau géologique, sa composition chimique, ses caractères pétrographiques, l'importance des carrières ou des mines, les prix, les emplois remarquables, etc.

CHATEAU. — La technologie du bâtiment, ou étude complète sur les matériaux employés dans les constructions (Paris, 1880-1882; 2 vol. in-8).

II. PALÉONTOLOGIE.

A. D'ORBIGNY. — Cours élémentaire de paléontologie et de géologie stratigraphique (Paris, 1852 ; 3 vol. in-18 et atlas in-4).

PICTET. — Traité de paléontologie, ou histoire naturelle des animaux fossiles (Paris, 1853-1857 ; 4 vol. in-8 et atlas in-folio).

A. D'ARCHIAC. — Introduction à l'étude de la paléontologie stratigraphique (Paris, 1864 ; 2 vol. in-8).

GAUDRY. — Les enchaînements du monde animal dans les temps géologiques. Mammifères tertiaires et fossiles primaires (Paris, 1878 et 1883 ; 2 vol. in-8).

FISCHER. — Manuel de conchyliologie, ou histoire naturelle des mollusques vivants et fossiles (Paris 1883 ; 1 vol. in-8).

HOERNES. — Manuel de paléontologie, traduit de l'allemand par Dollo (Paris, 1886 ; 1 vol. in-8).

SCHIMPER. — Traité de paléontologie végétale, ou la flore du monde primitif dans ses rapports avec les formations géologiques et la flore du monde actuel (Paris, 1869-1874 ; 3 vol. in-8 et atlas in-4).

LE HON. — L'homme fossile en Europe ; son industrie, ses mœurs, ses œuvres d'art (Paris ; 1 vol. in-8).

G. DE MORTILLET. — Le préhistorique ; antiquité de l'homme (Paris, 1883 ; 1 vol. in-12).

III. PHÉNOMÈNES GÉOLOGIQUES ET STRATIGRAPHIE.

VÉZIAN. — Prodrome de géologie (Paris, 1863-1867 ; 3 vol. in-8).

LYELL. — Principes de géologie, ou illustrations de cette science empruntées aux changements modernes que la terre et ses habitants ont subis (Paris, 4 vol. in-12).

LYELL. — Eléments de géologie, ou changements anciens de la

terre et de ses habitants, tels qu'ils sont représentés par les monuments géologiques (Paris, 2 vol. in-8).

CREDNER. — Traité de géologie et de paléontologie (Paris, 1879; 1 vol. in-8).

A. DE LAPPARENT. — Traité de géologie (Paris, 1885; 1 vol. in-8).

ELIE DE BEAUMONT. — Leçons de géologie pratique données au collège de France en 1843-1844 (Paris, 1845 ; 2 vol. in-8).

DAUBRÉE. — Etudes synthétiques de géologie expérimentale (Paris, 1879; 1 vol. in-8).

DUFRÉNOY ET ELIE DE BEAUMONT. — Explication de la carte géologique de la France (Paris, 1841-1848 ; texte, 2 vol. in-4 ; carte en 6 feuilles jésus).

Le texte de cet ouvrage est malheureusement resté inachevé.

BURAT. — Géologie de la France (Paris, 1874; 1 vol. in-8).

BELGRAND. — Histoire générale de Paris (Paris, 1869; 3 vol. in-fol.)

ED. LAMBERT. — Nouveau guide du géologue. Géologie générale de la France avec un appendice sur la géologie des principales contrées de l'Europe (Paris, 1873 ; 1 vol. in-18).

Cet ouvrage donne, pour chaque département, l'indication des travaux des géologues qui l'ont exploré.

DELESSE, LAUGEL ET DE LAPPARENT. — Revue de géologie, de 1860 à 1878 (Paris, 19 vol. in-8).

Cette revue, qui donnait l'analyse de tous les travaux relatifs à la géologie publiés en France et à l'étranger, a cessé de paraître depuis 1878.

CAREZ, DOUVILLÉ ET DAGINCOURT. — Annuaire géologique universel. Revue de géologie et de paléontologie (Paris).

Cette publication, qui paraît tous les ans depuis 1885, contient une bibliographie très complète des ouvrages édités dans l'année et un résumé des principaux travaux sur la géologie et la paléontologie.

Bulletin de la Société géologique de France (Paris, au siège de la Société).

Ce bulletin se publie depuis 1830, époque de la fondation de la Société.

Cartes et *Statistiques géologiques départementales.*

La plupart des départements possèdent des cartes géologiques, des statistiques géologiques et minéralogiques, des monographies locales, etc. On en trouvera l'énumération dans le *Catalogue de la Bibliothèque de l'Ecole des Ponts et Chaussées* dressé par M. Schwebelé (Paris 1872-1881. 2 vol.) et dans le *Guide du géologue* de M. Ed. Lambert.

Carte géologique détaillée de la France.

La carte géologique détaillée de la France à l'échelle de 1/80.000e est exécutée par un service spécial à la tête duquel est placé M. Michel Lévy, ingénieur en chef des mines. Sur les 267 feuilles entre lesquelles le territoire français est divisé, 98 sont publiées à la date du 1er octobre 1888.

Cette carte n'est pas simplement géologique. Elle indique, par le moyen de signes conventionnels, les exploitations des minerais, combustibles, minéraux, matériaux de construction, matières utiles à l'industrie ou à l'agriculture, les gîtes fossilifères importants, les usines de traitement immédiat, etc. La légende technique générale est donnée dans les *Annales des mines* (7e série, tome IV, p. 373).

Carte géologique de la France, à l'échelle du millionnième, dressée par le service de la carte géologique détaillée. (Paris, 1888; 4 feuilles imprimées en 37 couleurs).

Marcou. — Carte géologique de la terre (Paris, 4 feuilles jésus).

André Dumont. — Carte géologique de l'Europe (Paris, 4 feuilles grand aigle).

INDEX ALPHABÉTIQUE

Les chiffres entre parenthèses indiquent les numéros des figures

A

Aachénien, 393.
Abaissement (exploitation par), 115.
Abbeville, 605.
Acrogènes (règne des), 369.
Actuelle (période), 566, 589.
Adige (ancien glacier de l'), 580.
Afrique, 173.
Age, 11, 15, 19, 20, 21, 23, 35.
Agen, 509.
Agenais, 509.
Agronomiques (cartes), 26.
Ahun, 181.
Aisne (département de l'), 386, 457.
Aix-en-Provence, 472, 473, 523, 553.
Ajol (val d'), 250.
Alais, 181.
Alassac, 133.
Albien (étage), 371.
Aldeby, 545.
Alençon, 106.
Alesia, 321.
Alios, 549.
Alle, 86.
Alleghanys, 173.
Allemagne, 18, 171, 211, 268, 491, 581.
Allier (département de l'), 43, 45.
Allier (rivière), 39, 517.
Alluvion (minerai d'), 519.
Alluvions anciennes, 546.
Almaden, 23, 139.
Alpes, 37, 260, 470, 579, 580, 584.
Alpes occidentales, 175, 355, 524, 525, 527.
Alpes orientales, 225.
Alpines, 406, 407.
Alsace, 8, 285, 287, 519, 596.
Alveolina, 440.
A. subpyrenaïca (494), 469.
Ambulacre, 314.
Amérique, 18, 148, 570, 581, 585.
Amérique du Nord, 34, 38, 51, 62, 68, 78, 139, 173, 268.
Amérique du Sud, 38, 174, 570.
Ammonéens (terrains), 217.
Ammonites, 73, 272.
A. angulatus (338), 275.
A. bifrons (352), 278.
A. bisulcatus ou *Bucklandi* (342), 276.
A. cordatus (379), 315.
A. coronatus (377), 315.
A. gigas (395), 318.
A. Humphresianus (363), 313.
A. interruptus, 312.
A. Lamberti (378), 315.
A. macrocephalus (376), 315.
A. mamillaris (420), 372.
A. margaritatus (346), 277.
A. opalinus (353), 278.
A. Parkinsoni, 312.
A. planorbis (337), 275.
A. rotomagensis (428), 373.
A. serpentinus, 279.
A. splendens (421), 372.
Ammonitides, 221, 222.
Amoïnage, 116.
Amphicyon, 494.
Amphitherium (358), 308.
Amplexus, 143.
Anabacia orbulites, 316.
Ananchytes ovata (449), 375.
Ancerville, 378.
Ancyloceras, 366.
A. Matheroni (419), 371.
Andenne, 393.
Andes, 553.
Andrias Scheuchzeri (519), 525.
Angers, 118.
Angiospermes (règne des), 369.
Angleterre, 10, 18, 58, 62, 143, 157, 259, 268, 304, 419, 476, 544, 546, 581, 585.
Anglo-parisien (bassin), 264, 268.
Angoulême, 400, 401, 402.
Angoumien, 401.
Anjou, 118, 475, 507.
Annélidien (étage), 125.
Annularia, 154.
A. brevifolia (297), 153.
Anomopteris, 224.
Anoplotherium, 436.
A. commune (465), 437.
Anor (grès d'), 86.

Anthracifère (étage), 158, 160.
Anthracotherium, 492.
Antibes, 251, 256, 583.
Antifer (cap d'), 390.
Anvers, 545.
Anzin, 190, 191, 196, 198, 200.
Apalaches, 173.
Apatit Sandstein, 425.
Apt, 371, 408.
Aptien (étage), 371.
Aptychus (360), 310
Aquitaine, 499, 507.
Aquitanien (étage), 499.
Aral (mer d'), 542.
Araucaria Toucasi (408), 368.
Arc (vallée de l'), 409, 412.
Archæopteryx (359), 309.
Arcueil, 457.
Arcy-sur-Cure, 615.
Ardèche, 47, 416.
Ardennais (étage), 61.
Ardenne, 21, 29, 62, 78, 79, 108, 393.
Ardennes (département des), 79, 279, 322, 323, 324, 325, 326, 329, 330, 379.
Ardoisiers (gisements), 108.
Arendal, 51.
Arenicolites, 58, 59.
Arenig, 126.
Argenteuil, 461.
Argelès (ancien glacier d'), 578, 580.
Argile à silex, 475.
Argile plastique, 448.
Argilette, 599.
Argonne, 29, 380.
Ariège, 468, 470, 487, 488.
Armagnac, 510, 512.
Armoricain (étage), 68.
Armoricain (grès), 101.
Armorique, 37, 62, 68, 78, 94, 163, 507.
Arno (val d'), 543.
Art-sur-Moselle, 240.
Artois, 599.
Asaphus, 64.
Asie, 14, 68, 173.
Assise, 15.
Astarte minima (392), 317.
Astartien, 348.
Astéries, 65.
Astéries (calcaire à), 508.
Asti, 541, 542.
Asturies, 78, 139, 172.
Athyris, 75.
A. lamellosa (282), 145.
A. undata (242), 75.
Atlandide, 496.
Atrypa, 64.
A. reticularis (222), 65.
Attichy, 453.
Attigny, 381.
Attique, 527.
Aube (département de l'), 371, 378.
Aubenas, 181.
Aubenton, 379.
Auberville, 337.
Aubin, 182.
Aude, 488.
Audierne, 98.
Auge (pays d'), 336.
Aulus, 490.
Aumance (l'), 180.
Aurifères (gîtes), 23.
Aurignac, 470, 605.
Aurillac, 42, 555.
Aurochs, 591.
Ausseing, 468, 488, 489.
Australie, 68, 174, 571.
Authe, 329.
Autriche, 23, 172.
Autry, 381.
Autun, 148, 177, 215.
Autunois, 43, 46, 214, 291.
Auvergne, 38, 40, 267.
Auxois, 276, 292, 294.
Avallon, 294, 295.
Aveize (bois d'), 204.
Aveyron, 39, 40, 46, 301, 353, 553.
Avicula, 273.
A. contorta (386), 275.
A. echinata (374), 314.
Azoïque (ère), 31.

B

Baculites, 366.
B. anceps (452), 376.
Bagnères-de-Bigorre, 486, 490.
Bagnères-de-Luchon, 489, 490.
Bagneux, 457.
Bagshot, 478.
Bailly-aux-Forges, 379.
Bajocien (étage), 312.
Bala, 127.
Ballons, 242.
Bamble, 51.
Banc royal, 455.
Banc vert, 456.
Bancs francs, 466.
Baoussé-Roussés (les), 613.
Barèges, 490.
Bar-le-Duc, 330, 331, 380.
Barrois (calcaire du), 331.
Barton, 478.
Barutel, 417.
Basse-Loire, 164, 176.
Bath, 305, 314
Bathonien (étage), 314.
Baudignan, 512.
Baux (les), 407.
Bavière, 35, 38, 211.
Bayeux, 312, 334.
Bazas, 509.
Beaucaire, 523.
Beauce, 505.
Beauce (calcaire de la), 504.
Beauchamp (sables de), 458.
Beaujolais, 39, 40, 43, 49, 547.
Beaulieu, 351.
Beaumont, 458.

Beausset (le), 408, 409, 414.
Beauval, 399.
Bedoule (la), 408.
Belbèze, 469.
Belemnites (331), 272.
B. acutus (344), 276.
B. clavatus (348), 277.
B. digitalis (354), 278.
B. dilatatus (410), 370.
B. Emerici (411), 370.
B. giganteus (364), 313.
B. mucronatus (442), 375.
B. paxillosus (347), 277.
B. plenus (431), 373.
Belgique, 79, 160, 170, 193, 422, 599.
Bellavista, 19.
Belledonne, 534.
Bellegarde, 416.
Bellerophon 145.
B. costatus (283), 145.
Bellevue, 504.
Belrain, 330.
Beluze, 189.
Bembridge, 479.
Bérard, 203.
Berga, 489.
Bergen, 137.
Bergkalk, 157.
Bernissart, 365.
Berri, 521.
Berrias, 361.
Bert, 178.
Besançon, 340, 346, 349.
Bessette (la), 47.
Bessin, 298.
Beuzeville, 337.
Bex, 471.
Biarritz, 466.
Bièches, 111.
Bief à silex, 476.
Bigarré (grès), 231.
Bilobites (260 et 261), 102.
Binstead, 479.
Blaisois, 476.
Blanc-Nez (cap), 392.
Blanzy, 178.
Blayais, 475.
Blaye, 474.
Blocs erratiques (536), 578.
Bocage champenois, 380.
Bocage normand, 29.
Bocage vendéen, 29.
Bogny (schistes de), 82.
Bohême, 35, 38, 62, 68, 135, 172, 421, 553.
Bohémien (étage), 68.
Bolonien, 349.
Bone-bed, 279.
Bonnevie (526), 556.
Bordelais, 508, 509.
Bos primigenius, 591.
Bouches du-Rhône, 410.
Bougival, 397.
Boulbène, 595.
Boulogne, 162.
Boulonnais, 78, 162, 190, 192, 392.
Boulzicourt, 324.
Bourganeuf, 181.
Bourg-en-Bresse, 602.
Bourg-Lastic, 180.
Bourgogne, 44, 291, 320, 322, 547.
Bout-du-Monde, 241.
Boutices, 113.
Bouzillé, 104.
Brâcheux, 446.
Brachycéphales, 610.
Brachyphyllum, 312.
Bradford-clay, 314.
Brassac, 39, 179.
Braux, 86.
Braye-en-Laonnois, 449.
Brèches osseuses, 583.
Brenne, 29.
Brésil, 38, 62, 68, 78.
Bresse, 29, 546, 547, 579, 600.
Brest, 104, 106, 107.
Bretagne, 39, 95, 96, 97, 104, 507, 617.
Bretagne (Grande-), 169.
Brévent, 535.
Briançon, 529.
Brie, 501.
Brie (calcaire de la), 499.
Brienne, 380.
Briques (terre à), 599.
Bris, 452.
Bristol, 143, 259.
Britanniques (îles), 68, 78, 137.
Brive, 133, 299.
Bronteus, 72.
B. flabellifer (234), 72.
Bronze (époque du), 608, 618.
Brûlis (les), 104.
Buenos Ayres, 583.
Bugey, 348.
Bugnes, 111.
Bulla suprajurensis (394), 317.
Buquands, 386.
Buzancy, 329.

C

Caen, 335, 336.
Caernarvonshire, 125, 127.
Caillasses, 457.
Calamites, 153.
C. Suckovii (296), 153.
Calamodendron, 155, 156.
Calcaire alpin, 260, 356.
Calcaire carbonifère, 160.
Calcaire grossier, 451.
Calceola sandalina (250), 77.
Calcéoles (schistes à), 87.
Calédonienne (chaîne), 536.
Californie, 23, 553.
Callovien (étage), 351.
Calvados, 104, 297, 298, 334.
Calymene, 63.
C. Blumenbachi (216), 63.
Calymènes (schistes à), 102.

Camargue, 604, 613.
Cambrien (système), 53, 58.
Campan, 485.
Campanien, 402.
Canada, 51.
Canigou, 480, 490.
Canstadt, 610.
Cantal, 41, 42, 267, 553.
Caprina, 367.
C. adversa (439), 374.
Caprotina, 367.
Caradoc, 127.
Carbonifère (système), 54, 141.
Carcharodon, 438, 546.
C. heterodon (467), 438.
Cardiff, 168.
Cardinia concinna (339), 275.
Cardiola interrupta (223), 65.
Cardita, 223, 439.
C. Jouanneti (513), 498.
C. planicosta (483), 443.
Cardium, 75, 439.
C. palmatum (245), 75.
C. porulosum (484), 444.
Carmaux, 182.
Carniole, 519.
Carnivores, 433.
Caroline (marbre), 162.
Carpathes, 467, 580.
Carpolites, 154.
Carrières-Saint-Denis, 453, 454.
Carton (schistes), 302.
Casino, 543.
Caspienne (mer), 237, 542.
Cassis, 407.
Castillon, 508.
Catalogne, 553.
Catane, 543.
Caulopteris, 153.
Caumont, 397.
Cannes, 134.
Causses, 354.
Cauterets, 490.
Caux (pays de), 476.
Cavernes (dépôts des), 582.
Caylux, 521, 522.
Cazères, 483, 490.
Cellefrouin, 351.
Cendres sulfureuses, 284, 379, 393, 448.
Cengle (le), 411.
Cénomanien (étage), 374.
Cephalaspis, 71.
C. Lyelli (229), 71.
Ceratites, 221, 222.
C. nodosus (317), 222.
Ceratodus, 147, 221.
Cère (vallée de la), 555.
Cérithes (calcaire à), 455.
Cerithium, 439.
C. giganteum (473), 442.
C. hexagonum (474), 443.
C. lapidum (475), 443.
C. mutabile (476), 443.
C. plicatum (505), 497.
Cernay, 448.
Cervus megaceros (531), 569.
Cévennes, 29, 38, 39, 41, 48.
Cézallier, 48, 557.
Chablais, 175.
Chagey, 248.
Chailles, 347.
Châlifert, 459
Châlon-sur-Saône, 548, 602.
Châlons-sur-Vesle, 446.
Chalosse, 511.
Chama, 367.
Chamœrops, 541.
Chamacés, 310, 367.
Chambon (lac), 558.
Chamery, 454.
Champagnac, 180.
Champagne, 11, 29, 380, 384, 386, 405, 593.
Champigneulles, 291.
Champigny, 463.
Chancelade, 402.
Chanteloube, 47.
Chantonnais, 176.
Chaource, 380.
Chapelle-sous-Dun (la), 178.
Chara medicaginula (488), 444.
Charentes, 29, 350, 400.
Charlemagne (marbre), 89.
Charleroi, 190, 197.
Charleville, 281.
Charolais, 296.
Chartres, 463, 476.
Chartreuse (Grande-), 416, 579.
Château-Chinon, 44.
Châteaudun, 476.
Château-Landon, 500.
Châteaulin, 104.
Châteauneuf, 411.
Château-Vigneau, 474.
Châtillon-sur-Seine, 323.
Chaumont, 324.
Chauny, 455.
Chauves, 119.
Chauvigny, 351.
Chébiures, 113.
Chefs, 119.
Cheire, 560.
Cheirotherium (314), 220.
Chelléenne (phase), 607, 609.
Chelles-sur-Marne, 609.
Chéloniens, 309.
Chémery, 324.
Cherbourg, 98, 101, 105.
Chérence, 453.
Cheval, 540.
Chili, 268.
Chillesford, 541.
Chine, 173, 575.
Chinon, 395.
Chippal (le), 244.
Choin bâtard, 299.
Christiania, 137.
Cidaris florigemma (388), 317.
Ciply, 422.

Classification des terrains sédimentaires, 17.
Classification chronologique des roches éruptives, 19.
Clermont-Ferrand, 559.
Cleveland, 305.
Clierzou, 558, 559.
Climats anciens, 54.
Cliquart, 466.
Cloche des mineurs (301), 167.
Cluse, 339.
Clymenia, 173.
Clypeaster, 495.
Clypeus Ploti (370), 314.
Coal measures, 158.
Coccosteus, 71.
C. decipiens (230), 71.
Cognac, 404.
Collobrières, 251, 253.
Colonies de Barrande, 136.
Colorado, 23.
Combenègre, 48.
Comblanchien, 323.
Côme (puy de), 561.
Commentry, 146, 179, 180.
Commercy, 327.
Communay, 179.
Compiègne, 452.
Conchylien (étage), 219.
Condom, 510.
Condroz, 83, 90.
Cônes fossiles, 150.
Conflans-Sainte-Honorine, 455.
Congeria subglobosa (515), 498.
Congéries (couches à), 526.
Connage, 324.
Continent européen (formation du relief du), 536.
Contraction du soleil, 55.
Contrées naturelles, 28.
Contrexéville, 234.
Conularia pyramidata (262), 103.
Corallien (étage), 316.
Coral-rag, 312.
Corbeil, 462.
Corbières, 182, 470.
Coquins, 381.
Cordaites, 154.
C. brassifolia (298), 155.
Cordes de chat, 119.
Corinthe (isthme de), 550.
Corn-brash, 314.
Cornimont, 245.
Cornouailles, 107, 138.
Cornstone, 138.
Corrèze, 40, 41, 42, 48, 133, 181, 299.
Cosse, 119.
Côte-d'Or, 323.
Cotentin, 97, 99, 101, 106, 296, 581.
Côtes-du-Nord, 106.
Coupes géologiques, 6, 26.
Cours d'eau diluviens, 571.
Courtagnon, 454.
Couteaux, 111.
Couvin, 88.
Crabotage, 113.
Crag, 544, 545.
Craie blanche, 376.
Craie brune, 422.
Craie durcie, 8.
Craie glauconieuse, 374.
Craie piquetée, 398.
Craie tuffeau, 395.
Crania, 366.
C. parisiensis (144), 375.
Crassatella, 440.
Crau, 29, 602.
Cray, 379.
Crematopteris, 224.
Crépy-en-Valois, 453.
Crétacé (système), 363.
Creuse, 42, 47.
Creusot (le), 168, 178.
Creux, 327.
Crioceras, 366.
C. Duvali (409), 370.
Criqueport, 371.
Cristallophyllien (terrain), 32.
Crochets, crochons, 198.
Croix-aux-Mines (la), 243, 247.
Cromlech, 617.
Crussol, 359.
Cruziana bagnolensis (261), 101.
C. rugosa (260), 101.
Cublac, 181.
Cuise-la-Motte, 450.
Culm, 160.
Cumberland, 58.
Cupressocrinus crassus (246), 76.
Cuques, 472.
Curcy, 298.
Curragh, 569.
Cyathophyllum hexagonum (247), 76.
Cyclolithes ellipticus (450), 375.
Cyclostoma, 459.
C. mumia (482), 443.
Cyprina islandica (523), 542.
Cypris, 366.
Cyrena, 440.
C. cuneiformis (471), 441.

D

Dalle cambrienne, 484.
Dalle nacrée, 346.
Dalmanites, 64.
Damblain, 281.
Damery, 454.
Dames de Meuse, 91.
Damparis, 349.
Danemark, 376, 581, 617.
Danien (étage), 376.
Dannemora, 51.
Dauphiné, 175, 355, 416, 526, 584.
Dé (pic du), 489.
Decazeville, 182.
Decize, 181.
Défriche (la), 301.
Dekkan, 553.
Delémont, 521.

Delle, 348.
Deville, 82.
Dévonien (système), 54, 68.
Devonshire, 69, 138.
Dhuys (la), 464.
Diablerets (les), 470.
Diadema seriale, (355), 274.
Diceras, 310.
D. arietina (386), 317.
Dicératien (sous étage), 327.
Dictyonema sociale (211), 59.
Dictyoneura Monyi, 146.
Didelphis, 436.
Dièves, 394.
Digne, 302.
Diluvienne (période), 565, 566.
Diluvium scandinave, 581.
Dinoceras, 438.
Dinotherium (504), 494.
Diplograptus palmeus (226), 67.
Dipnoés, 221.
Dirt-bed, 362.
Discordance de stratification, 7.
Discordance paléontologique, 9.
Dives, 337.
Divisions géologiques, 12, 17.
Dôle, 345, 346, 347.
Dolichocéphales, 610.
Dolmen, 617.
Dombes, 29, 600, 601, 602.
Dôme (Puy-de-), 41, 42, 558, 560.
Domfront, 100, 101.
Dom-le-Ménil, 322.
Donetz, 172.
Dordogne, 400, 403, 519.
Dore (Mont), 557.
Douai, 190, 191.
Douarnenez, 99, 100.
Doué, 506.
Doyet, 179, 180.
Drac (bassin du), 175.
Dressants, 198.
Drift, 581.
Drom, 348.
Dromatherium sylvestre, 270.
Dryopithecus, 620.
Dudley, 127.
Durée des ères géologiques, 19.
Dyas, 211.

E

Ecaussines (les), 61.
Echaillon (l'), 358, 359.
Ecosse, 38, 68, 138, 169, 580.
Edentés américains, 570.
Egée (mer), 585.
Eguisheim, 610.
Eifel, 78, 553.
Eifélien (étage), 78, 87.
Eisleben, 212.
Ekaterinenbourg, 215.
Elbe (île d'), 553.
Elbeuf, 396.
Elephas antiquus, 569.
E. antiquus (âge de l'), 570.
E. meridionalis, 540.
E. primegenius (530), 567, 568.
Emigrées (espèces), 567, 570.
Encrines, 65.
Encrinus liliiformis (321), 223.
Entroques, 65.
Eocène (système), 433, 435.
Eohippus, 540.
Eozoon canadense (204), 35.
Epaisseur des formations sédimentaires, 18.
Epinac, 166, 178, 228.
Epoque, 15.
Equidés, 540.
Equisetum, 153.
E. arenaceum (325), 231.
Equivalence des assises, 11.
Equus, 540.
Ere, 15.
Ergeron, 599.
Ermenonville, 459.
Erratique (terrain), 581.
Erratiques (blocs) (536), 578.
Eruptions (chronologie des), 21.
Erzgebirge, 79.
Espagne, 23, 38, 62, 68, 139, 172.
Essex, 478, 544.
Essey, 248.
Esterel, 250, 553.
Estheria minuta (315), 221.
Etage, 15.
Etampes, 502.
Etrechy, 501.
Etrépilly, 458.
Etretat, 390, 391.
Eucalyptocrinus Buchii (225), 66.
Euomphalus pentangulatus (281), 145.
Eure, 476.
Eure-et-Loir, 476.
Euville, 328.
Exermont, 330.
Exogyra subplicata (412), 370.
E. virgula (390), 317.
Eymoutiers, 41.

F

Fagnes, 92.
Fahlbandes, 50.
Faloise (la), 388, 398.
Falunien (étage), 497.
Faluns, 506.
Famenne, 78, 90.
Famennien (étage), 78, 89.
Farewel rock, 157.
Faucigny, 175.
Faune deuxième, 68.
Faune primordiale, 58.
Faune troisième, 68.
Faux, 385.
Favosites punctata (248), 76.
Faymoreau, 176.
Fécamp, 391.

Felis spelæa, 569.
Fenestella, 143.
Fépin, 84.
Fer (époque du), 608, 619.
Fère (la), 448.
Féron, 393.
Feroë (îles), 553.
Ferques, 163.
Ferté-Milon (la), 453.
Ferté-Saint-Aubin (la), 506.
Ferté-sous-Jouarre (la), 501.
Festiniog, 129.
Feuquerolles, 104.
Filons (âge des), 21.
Finistère, 104.
Finlande, 38.
Fins, 180.
Firmy, 46.
Flandre, 393, 599.
Fléchinelle, 190.
Flénu, 195.
Flers, 101.
Flins, 161.
Flize, 284.
Flysch, 471.
Foie-de-veau, 292.
Fontainebleau, 500, 501.
Forest-marble, 314.
Forêt Noire, 597.
Forez, 38, 39, 40, 514.
Formation, 15.
Fougères, 105.
Fraize, 244.
Framont, 246.
Franche-Comté, 345, 347, 348.
Franconie, 257, 582.
Franconien (étage), 258.
Frasne, 89.
Fréjus, 252.
Fronsadais, 475.
Frontenac, 508.
Fuller's earth, 314.
Fumay, 81, 108, 117.
Furnes, 469.
Fusulines, 143.
Fusulina cylindrica (275), 143.
Fusus, 439.
F. contrarius (522), 542.
F. Noe (479), 443.
Fuveau, 409, 412.

G

Gaas, 509.
Gailenreuth, 582.
Gaize, 326, 380.
Galles (pays de), 61, 62, 124, 138, 168, 169.
Gannat, 517.
Ganoïdes, 70.
Gard, 47, 301, 302, 416.
Gargas, 408, 473.
Garonne (bassin de la), 473, 615.
Garonne (Haute-), 468, 485, 487.
Garonne (vallée de la), 593.
Garumnien, 410.
Gascogne, 548.
Gastornis, 438.
Gâtinais, 491, 504.
Gault, 371.
Gavarnie, 488.
Gèdre, 485.
Gellivara, 51.
Génelard, 296.
Génevreuille, 237.
Géni (apophyse), 610.
Gentilly, 455, 457.
Géologiques (cartes), 24.
Gérardmer, 244, 246, 247.
Gergovie, 518, 559.
Gérin, 162.
Germanie, 460.
Gers, 510.
Gervillia, 223.
G. socialis (319), 222.
Gévaudan, 42.
Gibraltar (détroit de), 539.
Giens, 252.
Gioux, 41.
Giromagny, 245, 247, 580.
Gisors, 397.
Givet, 62, 87.
Glabelle, 60.
Glaciaires (époques), 581, 586.
Glaciers (anciens), 577.
Glageon fleuri (marbre), 89.
Glaises (fausses), 449.
Glaises vertes, 499.
Gloucester, 305.
Glypticien, 327.
Glypticus hieroglyphicus, 316.
Glyptodon, 570.
Gneiss (étage des), 33.
Godet de bélemnite, 272.
Goniatites retrorsus (236), 73.
Graben, 598.
Graissessac, 182.
Grampians, 536.
Grand'Combe, 181.
Grand'Croix, 149.
Grandes-Rousses, 534.
Grand incarnat (marbre), 134.
Grand-Moloy, 178.
Grandpré, 379.
Granitique (période), 22.
Granulitique (période), 22.
Graptolithes (226, 263), 67, 103.
Grasse, 255, 408.
Gravenoire, 559.
Graviers d'alluvion, 573.
Gray, 348, 349.
Great oolit, 314.
Green sand (lower), 369.
Green sand (upper), 374.
Greenstone, 126.
Grenoble, 356, 358, 416.
Grès bigarré, 231.
Grès cristallisé, 503.
Grès d'apatite, 425.
Grès des Vosges, 227.

Grès druidique, 476.
Grès houiller, 166.
Grès ladère, 476.
Grès vert inférieur, 369.
Grès vert supérieur, 374.
Grignard, 466.
Grignon, 455.
Grinnel (terre de), 160.
Griotte, 135, 485.
Gris-Nez (cap), 392.
Grison, 506.
Grisons (pays des), 275.
Groenland, 38, 580.
Groise, 387.
Groupe, 15.
Gryphæa, 273.
G. arcuata (341), 276.
G. cymbium (345), 277.
G. dilatata (381), 315.
Guebwiller, 247.
Guéménée, 106.
Guépie (la), 47.
Guingamp, 106.
Guyane, 38.
Gymnospermes (règne des), 369.
Gypse (assise du), 460.

H

Hälleflinta, 50, 52.
Hallencourt, 398.
Hamites, 366.
H. attenuatus (424), 372.
Hanovre, 362, 428.
Haraucourt, 324.
Hardinghen, 163, 192.
Hardivilliers, 398.
Harlech, 125.
Hartz, 68, 78.
Harwich, 478.
Hastings, 419, 420, 421.
Hattonchâtel, 327.
Hâvre (le), 338, 374, 389.
Havrit, 194.
Haybes, 81, 85.
Haye (la), 324.
Hedera primordialis (407), 368.
Helix, 439.
H. nemoralis, 597.
H. plebeia (539), 597.
H. turonensis (511), 497.
Helvétien (étage), 499.
Hemicidaris crenularis (387), 316.
Henriette (marbre), 162.
Hennequeville, 338.
Hercyniens (monts), 79, 536.
Hétérocerques (227), 70.
Hettange, 276, 280.
Hettangien (étage), 276.
Hève (la), 390.
Hiatus des séries géologiques, 7.
Hierges, 87.
Himalaya, 580, 587.
Hipparion, 493.
Hippopotamus major, 569.
Hippurites, 367.
H. organisans (440), 374.
Hohe Venn, 92.
Höhneburg, 242.
Hohneck (le), 244.
Holaster complanatus, 369.
Holoptychius nobilissimus (232), 72.
Homalonotus, 64.
H. Vicaryi (218), 63.
Homme préhistorique, 605.
Homocerques (228), 70.
Honfleur, 338, 374.
Hongrie, 553.
Horizon, 15.
Houage, 194.
Houiller (étage), 158, 164.
Huelgoat, 107.
Hundsrück, 79, 86.
Huronien (étage), 51.
Huy, 161, 190.
Hyæna spelæa, 569.

I

Ibantelli, 487.
Ichthyodorulites, 71.
Ichthyosarcolithes, 367.
Ichthyosaurus (328), 270.
Iguanodon (406), 365.
Iles à ossements, 584.
Ille-et-Vilaine, 104.
Illinois, 174.
Imparidigités, 432.
Indes, 173.
Indice céphalique, 610.
Induses (517), 327.
Infralias, 275.
Infraliasique (grès), 275.
Ingressin (l'), 572.
Inoceramus, 367.
I. labiatus (436), 374.
I. sulcatus (426), 372.
Interglaciaire (époque), 586.
Investison, 185.
Irisées (marnes), 219, 234.
Irlande, 170, 553, 569, 580, 592.
Islande, 553, 580.
Isle-Adam (l'), 452, 453.
Isona, 489.
Italie, 172, 542, 543, 583.

J

Janicule, 544.
Janira, 367.
J. quinquecostata (433), 373.
Japon, 173.
Jarnisy, 324.
Jarville, 281.
Jura, 338, 446, 578, 592.
Jura blanc, 276.
Jura brun, 276.
Jura noir, 276.
Jurassiques (terrains), 264.
Juvisy, 501.

K

Kelloway-rock, 316.
Kédange, 280.
Keuper, 219.
Kimmeridge-clay, 318.
Kimmeridgien (étage), 318.
Kirkdale, 583.
Kjœkkenmœddings, 616.
Kongsberg, 50.
Koursk, 425.
Kragerœ, 51.
Kuerelles, 193.

L

Laber, 105.
Labyrinthodon (287), 147, 148, 220.
Lacunes des séries géologiques, 7.
Lacustres (habitations), 616.
Ladère (grès), 476.
Laifour, 91.
Lamandine-Basse, 522.
Lambourdes, 454.
Landes, 466, 508, 509, 548.
Langeac, 179.
Langhien (étage), 499.
Langres, 321, 324.
Languedoc, 68, 134, 359, 523.
Lannemezan, 550, 581.
Laonnois, 452.
Laponie, 51.
Larnagol, 522.
Laruns, 485.
Laugerie-Basse, 615.
Laugerie-Haute, 612.
Laurentien (étage), 51.
Laveline, 244.
Laye, 110.
Layeron, 110.
Léberon, 406, 526.
Lebias cephalotes (496), 473.
Lectoure, 510.
Lémuriens, 433.
Lens, 200.
Lens (bois des), 417, 418.
Léognan, 511.
Lepidodendron, 150.
L. crenatum (289), 150.
Lepidostrobus, 150.
Leptæna, 75.
L. Murchisoni (243), 75.
Ler, 474.
Lérouville, 328.
Lettenkohle, 259.
Lherz (étang de), 490.
Liais de Lorraine, 331.
Liancourt, 453, 455.
Liards (pierre à), 452.
Lias, 269.
Lias blanc, 297.
Lias bleu, 297.
Liasien (étage), 278.
Liasique (système), 269.
Licata, 543.
Licorne fossile, 568.
Liège, 90.
Liémery, 109.
Liffol-le-Grand, 325.
Ligérien (sous-étage), 401.
Lima, 223.
L. Carolina (453), 376.
L. elegans (414), 370.
L. proboscidea (367), 313.
L. squamosa (514), 497.
Limagne, 514, 515.
Limbourg, 190, 423.
Limnœa, 439.
L. longiscata (481), 443.
Limoges, 42, 43.
Limon rouge, 376.
Limousin, 38, 39, 40, 42, 44, 47.
Lingula, 61.
L. Davisii (215), 61.
L. Dumortieri (524), 541.
Lingula flags, 61, 125.
Lingules (dalles à), 61, 125.
Lioran, 554.
Liré, 104.
Lisieux, 338.
Lithostrotion basaltiforme (276), 144.
Littry, 106, 176.
Lituites, 64.
Livre de beurre, 618.
Lizy-sur-Ourcq, 458.
Llanberis, 125, 127.
Llandeilo, 126.
Llandovery, 127.
Loches, 395.
Lodève, 215, 301.
Lœss, 575.
Loir-et-Cher, 504.
Loire, 45.
Loire (Haute-), 19, 42.
Lombez, 511.
London-clay, 478.
Londres (argile de), 478.
Longjumeau, 501.
Longraine, 111.
Longwy, 285, 289.
Lons-le-Saulnier, 345, 349.
Lophiodon, 436.
Lormes, 42.
Lorraine, 226, 279, 325, 329, 330.
Lot, 354, 355.
Louchadière (puy de) (528), 560.
Louhoussoa, 489.
Lourdines (les), 352.
Lozère, 39, 40, 42, 47, 302.
Lucina columbella (512), 497.
Ludlow, 127.
Ludres, 290.
Lulworth-Cove, 362.
Lumachelle de Bourgogne, 292.
Lunéville, 233.
Lurdé (col de), 486.
Lusace, 421.
Luxembourg, 280, 282, 285.
Lychnus, 410.
Lyme-Regis, 304, 305.

M

Machairodus cultridens (501), 493.
Macigno, 471.
Mâcon, 44.
Madeleine (la), 614.
Maëstricht, 365, 422.
Maestrichtien, 409.
Magas, 366.
Magdalénienne (phase), 607, 614.
Magnesian limestone, 157.
Maine, 394.
Mairus, 91.
Maladetta, 480, 483, 489.
Malbosc, 48.
Malestroit, 102.
Mâlière, 334.
Malogne (la), 422.
Mammifères, 430.
Mammouth, 567.
Mammouth (âge du), 570.
Manche (la), 389, 391, 392, 585, 617.
Mansfeld, 21, 211.
Mantes, 397, 463.
Marboré, 488.
Marcilly-sur-Eure, 612.
Margeride (la), 39, 42.
Marienbourg, 89.
Marignac, 485.
Marne (dépt. de la), 460, 464.
Marne (Haute-), 323, 331, 378, 379.
Marnes du gypse, 460.
Marnes irisées, 219, 234.
Marnes vertes, 499.
Marse (vallée de la), 555.
Marseille, 407, 523.
Marsupiaux, 430.
Mastodon (503), 494.
Matagne, 90.
Maures (les), 37, 182, 250.
Mauriac, 41, 556.
Maurienne, 175.
May, 100, 103.
Mayenne, 104.
Meaux, 458.
Méditerranée, 435, 465, 539, 583, 585.
Méditerranéen (bassin), 264.
Médoc, 473, 475.
Megalichthys, 147.
Megalodon, 571.
Megalonyx, 571.
Megalosaurus, 309.
Megatherium, 571.
Melania, 439.
M. inquinata (470), 441.
Melonia, 440.
Mélaphyrique (période), 22.
Menat, 515.
Mende, 302.
Menez-Bré, 106.
Menhir, 617.
Mérignac, 511.
Merostomates, 60.
Méry-sur-Oise, 455.
Mesopithecus Pentelici, 494.
Mesvin, 423.
Métamorphisme des terrains primaires, 56.
Métaux (âge des), 607.
Metz, 281.
Meudon, 397, 448, 449, 450, 454.
Meulière, 499, 500.
Meurthe et-Moselle, 238.
Meuse (dépt. de la), 322, 325, 326, 329, 331, 378, 379.
Meuse (rivière), 572.
Meymac, 42.
Mezenc, 39.
Mézières, 62, 80, 282.
Micaschistes (étage des), 33.
Miches, 284, 298, 300.
Michigan, 174.
Micraster coranguinum (447), 375.
M. cortestudinarium (448), 375.
Microlestes antiquus, 270, 275.
Migration des espèces, 590.
Milhau, 354.
Miliolites (calcaire à), 454.
Millstone-grit, 157.
Minerais métalliques (âge des), 23.
Miocène (système), 434, 491.
Mirande, 511.
Mirebeau, 521.
Missouri, 174.
Modane, 530, 531, 532.
Mollasse, 523, 524.
Mommignies, 87.
Mondragon, 408.
Mondrepuits, 85.
Monograptus priodon (226), 67.
M. turriculatus (226), 67.
Mons, 190, 194, 197, 422.
Montaiguet (le), 411, 472.
Mont-Aimé, 388.
Mont-Auxois, 321.
Mont Blanc, 533, 534.
Mont Cenis, 531.
Mont d'Or lyonnais, 298.
Mont-Dore, 557.
Mont-l'Evêque, 457.
Mont-Olympe, 86.
Mont Perdu, 470, 482.
Mont Rose, 530.
Mont Roland, 345.
Mont Saint-Michel, 106.
Montagne Noire, 39, 133, 134.
Montagnes Noires, 95, 99.
Montagnes Rocheuses, 23, 553.
Montbrison, 39.
Montbron, 352.
Montchanin, 548.
Montchenot, 460.
Monte-Mario, 544.
Montebras, 47.
Montenach, 7.
Montereau, 388, 450, 453.
Montfaucon, 341.
Montfort, 467.
Monthermé, 82.
Montigny, 86.

Montlivaultia, 274.
M. Guettardi, 276.
Montmartre, 462.
Montmédy, 322.
Montmerle, 547.
Montmirail, 463, 464.
Montmorency, 504.
Montoir, 97.
Montpensier, 517.
Montreuillon, 46.
Montrouge, 455.
Moravie, 18.
Morbihan, 96, 106.
Morley, 331.
Mortain, 101.
Morts-terrains, 190.
Morvan, 21, 29, 38, 39, 42, 44, 45, 293, 573, 592.
Mosasaurus, 365.
Moscou, 425.
Moselle (rivière), 572.
Moulières, 413.
Mountain-limestone, 157.
Moustérienne (phase), 607, 611.
Moustier (le), 611.
Murat, 556.
Murchisonia angulata (244), 75.
Mure (la), 175, 534.
Murasson, 134.
Muschelkalk, 219.
Myophoria, 223.
M. vulgaris (320), 223.

N

Nagelfluh, 524.
Nagelkalk, 284.
Namur, 161, 162, 190, 197.
Nancy, 283, 285.
Nantes, 106.
Nanteuil, 460.
Nantle, 128.
Napoléon (marbre), 162.
Natica, 495.
N. crassatina (507), 497.
Nautilides, 64.
Nautilus, 94.
N. danicus (451), 376.
Naux, 86.
Naye, 197.
Néanderthal, 610.
Néant, 99.
Néocomien (étage), 399.
Néolithique (époque), 607.
Néozoïque (ère), 427.
Nereites, 58.
N. cambrensis (210), 59.
Nerfs, 111.
Nerinea, 310.
N. tuberculosa (389), 317.
Nerita, 439.
N. conoïdea (472), 441.
Nersac, 400.
Néthou, 480, 489.
Neufchâteau, 281, 324.
Neufchâtel (Suisse), 369.
Neuilly, 455.
Neulize, 44.
Neuville-aux-Bois, 505.
Neuvizy, 326.
Nevropteris, 152.
N. Loshii (293), 152.
Newcastle, 169.
New red sandstone, 69, 259.
Niagara, 139.
Nièvre, 46.
Nîmes, 417.
Niveaux géognostiques, 11.
Nœggerathia, 154.
Nogent-le-Rotrou, 476.
Noires-Mottes, 392.
Nomenclature géologique, 16.
Normandie, 11, 296, 333, 396, 573.
Norfolk, 544.
Norroy, 235.
Norvège, 38, 50, 62, 137.
Norwich, 544.
Nothosaurus, 221.
Nouart, 326.
Nouveau-Brunswick, 174.
Nouveau grès rouge, 69.
Nouvelle-Écosse, 147, 174.
Nouvelle-Zélande, 154, 174.
Noyant, 180.
Noyers-Thelonne, 283.
Nucleus, 618.
Nucula pectinata (425), 372.
Nummulites, 440.
N. planulata (486), 444.
N. variolaria (487), 444.
Nummulites (calcaire à), 452.
Nummulitique (terrain), 464.

O

Océanie, 174.
Odontopteris, 152.
Œningen, 515, 526.
Offy, 393.
Ogygia, 64.
O. Guettardi (219), 64.
Oignies, 192.
Oisans, 534.
Old red sandstone, 69, 138.
Oldhamia, 58, 59.
O. antiqua (208), 59.
O. radiata (209), 59.
Olénidien, 125.
Olenus, 61.
O. micrurus (214), 61.
Oligocène (système), 434.
Olmo (l'), 612.
Olot, 553.
Onguiculés, 431.
Ongulés, 431.
Oolithe (grande), 314.
Oolithe vacuolaire, 332.
Oolithique (système), 307.
Operculina, 440.
Ophiura constellata (224), 66.

Orbitolites, 440.
Orenbourg, 216.
Orgemont, 461.
Orgon, 406.
Orléanais, 504, 505.
Orsay, 503.
Orthez, 487, 512.
Orthis, 65.
Orthocéphales, 610.
Orthoceras (220), 64.
O. bohemicum (499), 485.
Osborne, 478.
Osmanville, 297.
Ostracées, 223.
Ostrea acuminata (369), 314.
O. aquila (417), 371.
O. carinata (435), 373.
O. columba (434), 373.
O. Couloni (413), 370.
O. crassissima, 495.
O. cyathula (508), 497.
O. deltoïdea (391), 317.
O. Marshii (380), 315.
O. vesicularis (446), 375.
Ostréenne (argile), 378.
Otodus obliquus (468), 438.
Ottange, 287.
Ottawa, 287.
Oural, 78.
Ours des cavernes, 568.
Ovoïdes (marnes à), 282.
Oxford-clay, 316.
Oxfordien (étage), 316.

P

Pachydermes, 431.
Pagny-la-Blanche-Côte, 573.
Pagny-sur-Meuse, 572, 573.
Pain d'épice, 457.
Palæoniscus (286), 147.
Palæotherium magnum (464), 436.
Palæocrinus ellipticus (277), 144.
Palafittes, 616.
Palassou (poudingue de), 468.
Palente, 346.
Paléolithique (époque), 607.
Paléozoïque (ère), 54.
Panama (isthme de), 539, 563.
Pantin, 463.
Paradoxides bohemicus (213), 61.
Paradoxidien (étage), 125.
Paridigités, 432.
Pariou (puy de), 562.
Paris (bassin de), 11, 264, 267, 377, 389, 444, 475, 498.
Paris (roche de), 457.
Parisien (étage), 442.
Parnes, 455.
Pas de bœuf (260 et 261), 102.
Pas-de-Calais), 101, 192, 194.
Pavin (lac), 558.
Pays, 29.
Pays-Bas, 353.
Pays des Bois, 404.
Pecopteris, 153.
P. aquilina (295), 152.
Pecten, 223.
P. æquivalvis (351), 277.
P. asper (432), 373.
P. valoniensis (340), 275.
Pectunculus obovatus (509), 497.
Pélongrain, 111.
Pelvoux, 535.
Penrhyn, 125, 127.
Pensylvanie, 139.
Pentacrinus, 273.
P. basaltiformis, 278.
P. briareus (334), 274.
Pentamerus, 64.
P. Knighti (221), 65.
Pépérites, 516.
Perche, 394.
Périgord, 44.
Périgueux, 403.
Période, 15.
Périodes éruptives, 22.
Perm, 215.
Permien (étage), 158, 211.
Perte du Rhône, 416.
Perthois, 380.
Pézenas, 134.
Phacops latifrons (233), 72.
Phascolotherium, 308.
Philipeaux (les), 403.
Philippeville, 89.
Phillipsia gemmulifera (285), 146.
Pholadomya exaltata (382), 315.
Phosphate de chaux, 281, 283, 293, 294, 334, 381, 384, 386, 398, 408, 416, 422, 424, 521.
Phrygane (516), 517.
Phryganes (calcaire à) (517), 517.
Phtanite, 104 161.
Phyllograptus typus (226), 67.
Physa 439.
P. gigantea (469), 441.
Picardie, 11, 398, 476, 599.
Pierre (âge de la), 607.
Pierre à oreillettes, 330.
Pierre bise, 292.
Pierre carrée, 164.
Pierrelaye, 455.
Pikermi, 495, 526.
Pillaring, 128, 129.
Pisolithique (minerai de fer), 519.
Pixérécourt, 290.
Placentaires, 430.
Placoïdes, 70.
Plagiaulax, 308, 436.
Plancher-les Mines, 248.
Pläner, 421.
Planèze (la), 556.
Planorbis, 439.
P. rotundatus (480), 443.
Plateau Central, 37, 38, 62, 133, 176, 225, 301, 359, 511, 580.
Plateures, 198.
Plesiosaurus dolichodeirus (329), 271.
Plessis (le), 176.

Pleurodictyum problematicum(249),77.
Pleurotomaria, 273.
P. conoïdea (365), 313.
Plèvre de trilobite, 60.
Plicatula placunea (418), 371.
P. spinosa (350), 277.
Plicatules (argile à), 371.
Pliocène (système), 434, 539.
Ploaré, 98.
Plomb du Cantal, 556.
Plombières, 231, 232.
Poillé, 164.
Poissy, 455.
Poitou, 350.
Poix, 324, 325.
Pologne, 79, 581.
Pompadour, 48.
Pompéan, 107.
Pont-Maugis, 283.
Pont-Saint-Maximin, 453.
Pontarlier, 349.
Pontgibaud, 47.
Pontlevoy, 504.
Pontoise, 458.
Porphyrique (période), 22.
Porrentruy, 349.
Port-en Bessin, 335.
Porte de France (calcaires de la), 356.
Portieux, 241.
Portland, 318.
Portlandien (étage), 318.
Portugal, 68, 172, 617.
Posidonia Bronnii (355), 279.
Posidonies (marnes à), 279.
Potamides, 495.
P. Lamarcki (506), 497.
Pouancé, 619.
Poudingues pourprés, 99.
Pouilly, 292, 295.
Poullaouen, 107.
Pourris, 111.
Prades, 181.
Prague, 136.
Préhistorique (homme), 605.
Préhistorique (chronologie), 607.
Primaire (ère), 53.
Primitif (terrain), 3.
Primordial (sol), 3.
Proboscidiens, 432.
Productus, 144.
P. Cora (278), 144.
P. horridus (279), 144.
Protriton petrolei (288), 140.
Provençal (calcaire), 406.
Provence, 302, 405, 415, 472, 523, 527.
Prusse, 171, 581, 599.
Przibram, 136.
Pterichthys, 72.
P. latus (231), 71.
Pterocera, 310.
P. Oceani (393), 317.
Ptérocérien, 349.
Pterodactylus crassirostris (330), 271.
Pterophyllum, 224.
P. Pleiningeri (323), 224.
P. Williamsoni (361), 311.
Pterygotus anglicus (235), 73.
Ptychoceras, 366.
P. gaultinus (423), 372.
Pupa muscorum (540), 597.
Purbeck, 361.
Puy (le), 19.
Puy Chopine, 558.
Puy Courny, 555.
Puy-de-Dôme, 41, 42, 558, 560.
Puy-del-Voll, 46.
Puy Griou, 554, 555.
Puy Mary, 555.
Puy Rouge, 561.
Puy Sainte-Réparade, 472.
Puys (chaîne des), 558.
Pygidium, 60.
Pyrénéen (bassin), 264.
Pyrénées, 35, 37, 62, 68, 78, 466, 467, 479, 549, 580, 581.
Pyrénées (petites), 482, 488.
Pyriac, 107.

Q

Quadersandstein, 421.
Quaternaire (ère), 565.
Quercy, 354, 521.
Quernage, 116.
Quingey, 348.

R

Radiolites, 367.
R. lumbricalis (441), 374.
Rambouillet, 504.
Rancié (le), 490.
Ranville, 336.
Raon-l'Etape, 227, 228, 248.
Rastrites peregrinus (226), 67.
Rauracien (étage), 347.
Red marl, 259.
Régions naturelles, 29.
Règle de la normale, 186.
Rehaussement (exploitation par), 115.
Reims, 8, 386, 387.
Relations de pénétration des roches éruptives, 19.
Remiremont, 244.
Renne, 570.
Renne (âge du), 570.
Rennes (schistes de), 99, 100.
Requienia, 367.
R. ammonia (415), 370.
Revin (schistes de), 81.
Rhénan (étage), 78, 84.
Rhétien (étage), 275.
Rhin (vallée du), 596.
Rhinoceros, 432.
R. Mercki, 569.
R. tichorhinus, 568.
Rhizocolon (461), 410.
Rhode-Island, 174.
Rhône (ancien glacier du), 579.

Rhône (perte du), 416.
Rhune (la), 485.
Rhynchonella, 74.
R. Cuvieri (438), 374.
R. decorata (373), 314.
R. Wilsoni (240), 74.
Ribecourt, 453.
Riesengebirge, 79.
Rièzes, 94.
Righi, 525.
Rilly-la-Montagne, 447.
Rimogne, 91, 108, 110, 115, 117.
Rive-de-Gier, 179, 202.
Roannais, 163, 178.
Roanne, 44.
Robenhausienne (phase), 607.
Roche (bancs de), 455, 457.
Roche à Fépin, 84.
Roche aux Corpiats (254), 84, 85.
Roche-l'Abeille, 46.
Roche Rouge (la), 20.
Roche Sanadoire, 557.
Roche Tuilière, 557.
Rochette, 457.
Rocheuses (montagnes),23, 553.
Rocroi, 94.
Rodez, 182.
Rogenstein, 257.
Rohan (Salles de), 102, 106.
Romainville 502.
Ronchamp, 175, 249.
Roquefavour, 411.
Roquefort, 354.
Roquemaillère (pierre de), 417.
Roquepartide (pierre de), 524.
Rostre de bélemnite, 272.
Röth, 258.
Rothliegende, 211.
Rouen, 374, 390, 397.
Roujan, 182.
Roule (montagne du), 101.
Roux (cap), 251.
Rudistes, 367.
Ruhr (bassin de la), 171, 190.
Ruminants, 432.
Russie, 23, 57, 68, 69, 138, 143, 169, 172, 215, 268, 424, 581.
Rutilantes (argiles), 411.
Ryde, 479.

S

Saalfeld, 211.
Sablé, 164.
Sables-d'Olonne, 97.
Sables nummulitiques, 451.
Sables verts, 379.
Saillancourt, 453.
Sains, 393.
Saint-Acheul, 609.
Saint-Aubin, 391.
Saint-Antonin, 521.
Saint-Barthélemy, 118.
Saint-Béat, 483, 485, 486.
Saint-Cassian, 261.
Saint-Chamond, 203.
Saint-Claud, 351.
Saint-Dié, 249.
Saint-Eloi, 180.
Saint-Estèphe, 474, 475.
Saint-Etienne, 21, 149, 179.
Saint-Félix, 455.
Saint-Gaudens, 620.
Saint-Gérand-le-Puy, 517.
Saint-Gobain, 453.
Saint-Jacques (banc), 453, 454.
Saint-Laurs, 176.
Saint-Léonard, 47.
Saint-Leu (banc), 452.
Saint-Lô, 99, 100, 105.
Saint-Macaire, 508.
Saint-Maxence, 453.
Saint-Mihiel, 327.
Saint-Nicolas (saline), 239.
Saint-Nom (banc), 466.
Saint-Ouen (calcaire de), 460.
Saint-Paul, 179.
Saint-Paul-de-Dax, 511.
Saint-Pétersbourg, 138.
Saint-Pierre-la-Cour, 176.
Saint-Prest, 544.
Saint-Raphaël, 256.
Saint-Sulpice, 400.
Saint-Valery-en-Caux, 391.
Saint-Valery-sur-Somme, 617.
Saint-Ylie, 349.
Saint-Yrieix, 46.
Sainte-Foy-l'Argentière, 179.
Sainte-Marie-aux-Mines, 244, 246.
Sainte-Menehould, 384.
Saintes, 402.
Salées (sources), 241.
Salers, 556.
Saliférien (étage), 219.
Salins, 344.
Salles, 512.
Salles de Rohan, 102, 106.
Salzkammergut, 261.
Samorod, 425.
Sampans, 345.
Sancy (pic de), 557.
Sandaucourt, 281.
Sannois, 461.
Sansan, 511, 619.
Sansouires, 604.
Santa-Fé-de-Bogota, 494.
Santenay, 583.
Santonien, 402.
Saône (bassin de la), 546.
Saône (Haute-), 548.
Sarcouy (527), 558, 559, 560.
Sardaigne, 19, 173.
Sarlat, 403.
Sarralbe, 233.
Sarrebrück, 171, 230.
Sartage, 93.
Sarthe, 164, 394, 476.
Saucats, 512.
Saulieu, 293.
Sauropus primævus, 147.

Sauvage, 45.
Savenne, 41.
Saverne, 227.
Savoie, 175.
Savonnières-en-Perthois, 332.
Savoureuse (vallée de la), 580.
Saxe, 23, 34, 35, 38, 68, 171, 211, 421.
Scaillage, 194.
Scandinavie, 38, 49, 68, 137, 567, 580, 584.
Scandinavien (étage), 61, 62.
Scanie, 617.
Scaphites, 366.
S. æqualis (430), 373.
Schaumkalk, 258.
Schirmeck, 246, 248.
Schistes bigarrés, 86.
Schistes luisants, 41.
Scolithes (258), 99.
Scorpionide, 63,
Scutella, 495.
Seeland (île), 376.
Secondaire (ère), 217.
Segré, 102.
Seine, 571, 573, 593.
Seine-et-Marne, 500.
Sel gemme (gisements de), 139, 213, 236, 237, 238.
Semur, 276, 294.
Senlis, 457, 458.
Senonches, 395.
Sénonien (étage), 376.
Sens, 376.
Sentein, 490.
Septaria, 478, 575, 599.
Séquanien, 348.
Séraphin (235), 73.
Serpentine (pierre de), 293.
Serpula spirulæa (490), 466.
Serre (la), 343.
Servance, 245, 247.
Sextien (étage), 472.
Sézanne, 447.
Shropshire, 62, 126.
Sibérie, 584.
Sicié (cap), 250.
Sicile, 543.
Sidérolithique (formation), 518.
Siebengebirge, 553.
Sierk, 8.
Sigillaria pachyderma (290), 153.
Silésie, 18, 35, 38, 171.
Silex taillés, 605.
Silurien (système), 53, 62.
Simœdosaurus, 438.
Simorre, 511.
Sincey, 178.
Sinémurien (étage), 276.
Skye (île de), 35.
Soignies, 161.
Soissonnais, 448, 450, 452.
Soissons, 441.
Sol primordial, 31.
Soleil (concentration du), 55.
Solenhofen, 309.
Solipèdes, 432.
Sologne, 29, 506.
Solutré, 612.
Solutréenne (phase), 607, 612.
Somersetshire, 297.
Souabe, 257.
S'Ortu Mannu, 20.
Soultz-les-Bains, 231.
Soyaux, 401.
Spa, 82.
Sparagmite, 137.
Spassk, 425.
Spatangues (calcaire à), 378.
Spatangus retusus (416), 370.
Sperenberg, 213.
Sphærulites, 367.
S. angeïodes (443), 375.
Sphérite, 347.
Sphenophyllum dentatum (292), 151.
Sphenopteris Hœninghausi (294), 152.
Sphérosidérite (301), 167.
Spiennes, 422.
Spirifer (237), 73, 74.
S. glaber (280), 145.
S. speciosus (239), 74.
S. undulatus (281), 145.
S. Verneuilli (238), 74.
Spiriferina Walcoti (333), 273.
Spitzberg, 160, 173.
Spondylus, 367.
S. spinosus (445), 375.
Staffordshire, 170.
Stassfurt, 212, 214.
Stereorachis, 148.
Stigmaria (291), 151.
Stinkal, 162.
Stourbridge, 170.
Stringocephalus Burtini (241), 75.
Strophostoma lapicida, 411.
Subapennin (étage), 541.
Succinea elongata (541), 597.
Suède, 38, 62, 63, 137, 173.
Suessonien (étage), 441.
Suffolk, 544.
Suisse, 343, 499, 524, 584.
Suisse saxonne, 421.
Sussex (marbre de), 420.
Système, 15.

T

Tambow, 424.
Tarannon, 127.
Tarantaise, 175.
Tarare, 44, 45.
Tarn, 47.
Tartaret, 558.
Taunus, 79, 86.
Teil (le), 418.
Teleosaurus, 309.
Téléostéens, 310.
Tentaculites (255), 85.
Terebellum, 439.
T. fusiforme (478).
Terebratula, 74.

T. cardium (371), 314.
T. digona (372), 314.
T. diphya (385), 315.
T. globata (368), 313.
T. janitor (384), 315.
T. numismalis (249), 277.
T. vulgaris (318), 222.
Terebratulina gracilis (437), 374.
Terminologie géologique, 14.
Terrain, 15.
Terrains blancs ou goutteux, 600.
Terrasses des vallées, 574, 593.
Terre-fort, 595.
Terre à foulon, 314.
Terre douce, 599.
Tertiaire (ère), 427.
Tertiaire (homme), 619.
Têtes de chat, 450.
Texas, 174.
Thann, 248.
Thélod, 285.
Thenay, 619.
Thibet, 465.
Thiers, 44.
Thisy, 295.
Tholonet (brèche du), 411.
Thouars, 278.
Thüringerwald, 79, 257.
Tigillites (258), 99.
Tilgate, 420.
Tithonique (étage), 356.
Toarcien (étage), 278.
Tongrien (étage), 496.
Torrent d'Anzin, 393.
Torsin, 119.
Tortone, 526.
Toscane, 23, 173.
Toul, 324, 572.
Toulon, 253.
Touraine, 376, 395, 475, 507.
Tourbières, 592.
Tournai, 161.
Tournus, 602.
Toxoceras, 366.
Transition (terrains de), 57.
Transylvanie, 23, 553.
Travassac, 133.
Trélazé, 118.
Trélon, 87.
Trémadoc, 125.
Trets, 410.
Trévoux, 547.
Trias, 219.
Trias alpin, 225, 260.
Trias anormal, 260.
Triasique (système), 219.
Trigonia, 273.
T. clavellata (383), 315.
T. costata (366), 313.
T. gibbosa (396), 318.
T. navis (356), 279.
T. Pellati (397), 318.
Trilobites (212), 60.
Trinucleus ornatus (217), 63.
Tripoli de Nanterre, 458.
Trochus, 273.
Trois-Châtels, 340.
Trouville, 337.
Tuilière (roche), 557.
Tulle, 40.
Tumulus, 617.
Tun, 394.
Turbinolia elliptica (485), 444.
Turlu, 453.
Turonien (étage), 376.
Turquie, 173.
Turrilites, 366.
T. catenatus (422), 372.
T. costatus (429), 373.
Turritella, 439.
T. imbricataria (477), 443.
Types collectifs, 271.
Tyrol, 260.

U

Uchaux, 408.
Upsal, 51.
Urgonien (étage), 406.
Ursus ferox, 570.
U. spelæus, 568.
Urus, 591.

V

Vaches noires, 337.
Vadonville, 329.
Val-Fleury, 450.
Valence, 359.
Valenciennes (bassin de), 175, 189.
Valenginien, 406.
Valfin, 349.
Vallage, 380.
Vallangoujard, 453, 454.
Valognes, 297.
Valmy, 385.
Vandeuvre, 379.
Vanne (source de la), 388.
Var, 78, 225.
Varangéville, 236, 281.
Varenne, 352.
Vassy, 295.
Vatican, 544.
Vaubecourt, 381.
Vaucluse, 405, 407.
Vaudémont, 322.
Vaugirard, 449, 452, 458.
Velay, 38, 552.
Velesmes, 346.
Venaissin (comtat), 526.
Venarey, 295.
Venasque, 485.
Vendée, 96, 97, 105, 176.
Ventoux, 406.
Ventron, 245.
Verdun, 327.
Vergelés, 454.
Vermandois, 451.
Vernon, 397, 504.
Verpel, 329.

Verpillière (la), 299.
Verrains (banc à), 453.
Vertus, 388.
Vesoul, 345.
Vésulien, 345.
Vialas, 47.
Vic, 280.
Vieil Saint-Remy, 326.
Vienne (Autriche), 526.
Vienne (Haute-), 41, 43, 46, 47.
Vierzon, 295.
Vieux grès rouge, 69, 138.
Vigan (le), 181.
Vilhonneur, 352.
Villefer (la), 109.
Villefranche d'Aveyron, 48.
Villeneuve-lès-Avignon, 524.
Villers-Carbonnel, 398.
Villers-Cotterets, 453, 459, 504.
Villers-sur-Mer, 337.
Villy-en-Trode, 399.
Vire (granite de), 104.
Vireux, 87.
Virgulien, 349.
Visé (calcaire de), 161.
Vitis sezannensis (489), 447.
Vitré, 102.
Vitry-le-François, 380, 384.
Vittel, 234.
Vivarais, 38, 40.
Volcaniques (terrains), 552.
Volterra, 543.
Voltzia heterophylla (322), 224.
Voluta, 439.
V. Lamberti (510), 497, (521), 542.
Volvic, 562.
Vorges, 340.
Vosges, 37, 78, 163, 175, 226, 242, 553, 580, 581, 597.
Vosges (grès des), 227.
Vosgien (étage), 219.
Vouvant, 176.
Vouziers, 384.
Vroïl, 381.

W

Walchia hypnoïdes (299), 155.
Warcq, 281.
Wassy, 378, 379, 380.
Weald, 419, 420, 421.
Weald-clay, 419.
Wealdien, 419.
Wellenkalk, 258.
Wengen (assise de), 261.
Wenlock, 127.
Westphalie, 171, 190.
Whitby, 305.
Wichwood, 314.
Wight (île de), 420, 477, 478.
Wignehies, 394.
Wiltshire, 316.
Wissant, 617.
Wissembach, 243.
Woolwich, 478.

X

Xiphodon gracilis (466), 437.

Y

Yorkshire, 308.

Z

Zambèze, 173.
Zamites, 274.
Z. feneonis (362), 311.
Zaundorf, 211.
Zechstein, 211.
Zurich, 616.

ERRATA

TOME PREMIER

Page VII, ligne 6, au lieu de « interne, lire « externe ».
Page 12, ligne 23, au lieu de « 79 », lire « 21 ».
id., 24, au lieu de « 21 », lire « 79 ».
Page 25, première ligne, au lieu de « cofondent », lire « confondent ».
Page 35, ligne 2, au lieu de « 8° », lire « 8′ ».
Page 153, ligne 18, au lieu de « la maintenir tout entière », lire « le maintenir tout entier ».
Page 156, ligne 9, au lieu de « solide », lire « fluide ».
Page 215, légende de la figure 74, au lieu de « assemblage », lire « plan ».
Page 231, légende de la figure 90, au lieu de « trapeozèdre », lire « trapézoèdre ».
Page 247, ligne 23, au lieu de « ordinaires », lire « extraordinaires ».
Page 285, ligne 5 à partir du bas, au lieu de « fig. 139 », lire « fig. 140 », et réciproquement.
Page 310, ligne 6 à partir du bas, au lieu de « 162 », lire « 161 ».
id., dernière ligne, au lieu de « 161 », lire « 162 ».
Page 362, ligne 15, au lieu de « 50 grammes », lire « 50 francs ».
Page 369, dernière ligne, au lieu de « *équisitacées* », lire « *équisétacées* ».
Page 378, première ligne, au lieu de « *gras* », lire « *proprement dits* ».
id., ligne 2, au lieu de « *proprement dits* », lire « *gras* ».
Page 433, ligne 9, au lieu de « elles ont été gravées », lire « ils ont été gravés ».
Page 492, ligne 12, au lieu de « *læss* », lire « *lœss* ».
Page 524, ligne 5, au lieu de « Hérault », lire « Aude ».
Page 552, ligne 8, à partir du bas, au lieu de « *tribobites* », lire « *trilobites* ».
Page 579, ligne 3, au lieu de « de sédiments », lire « des sédiments ».
id., ligne 9 à partir du bas, au lieu de « la recevoir », lire « le recevoir ».

TOME SECOND

Page 36, ligne 17, au lieu de « précédemment », lire « précisément ».
Page 64, ligne 7 en remontant, au lieu de « *Pontamerus* », lire « *Pentamerus* ».
Page 77, ligne 12 et légende de la figure 249,
Page 87, ligne 13,
Page 104, ligne 14 et 24,
} au lieu de « *Pleurodyctium* », lire « *Pleurodictyum* ».
Page 441, ligne 17, ajouter « *Nummulites planulata* (fig. 486), de la dimension d'une lentille ».
Page 442, lignes 3 et 2 à partir du bas, supprimer « *N. planulata* (fig. 486), de la dimension d'une lentille ».
Page 525, ligne 14 à partir du bas et légende de la figure 519, au lieu de « *Andryas Scheutzeri* », lire « *Andrias Scheuchzeri* ».
Page 563, ligne 9 à partir du bas, au lieu de « répandus », lire « répandues ».

Laval. — Imprimerie et Stéréotypie E. JAMIN, 41, rue de la Paix.

UNIVERSITY OF ILLINOIS-URBANA
3 0112 027288528